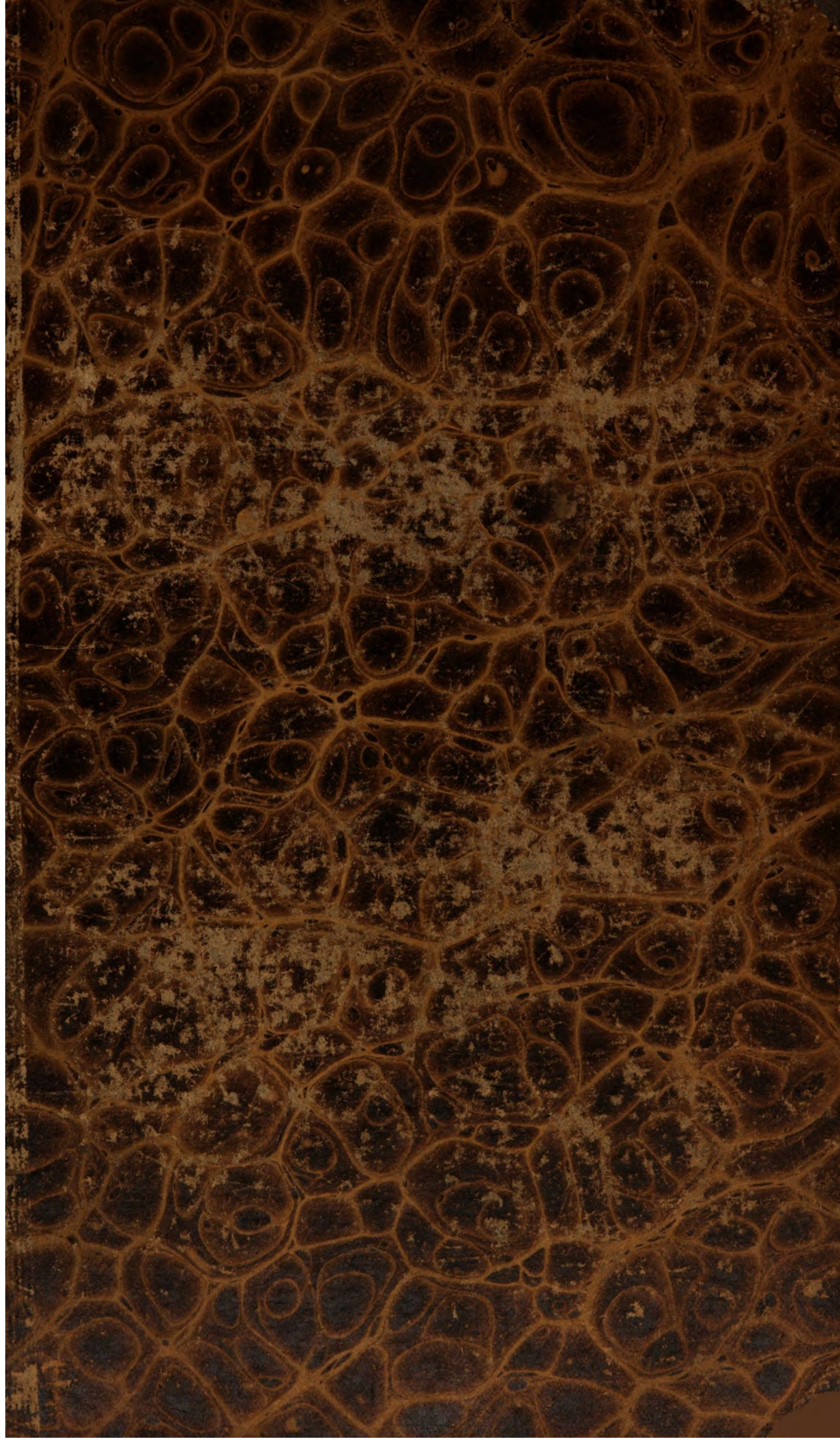




Astr. P. 153 ^l

Schiaparelli

Entwurf
einer
Astronomischen Theorie
der
Sternschnuppen.

Von
J. V. Schiaparelli,
Director der Königl. Sternwarte zu Mailand.

~~~~~  
Einzig autorisirte deutsche Ausgabe  
der vom Verfasser völlig umgearbeiteten  
„Note e Riflessioni sulla teoria astronomica delle Stelle cadenti“  
aus dem Italienischen übersetzt und herausgegeben

von  
**Georg von Boguslawski.**

—————  
STETTIN, 1871.  
Verlag von Th. von der Nahmer.







## Vorwort

des Uebersetzers und Herausgebers.

Die Sternschnuppenkunde hat seit den Jahren 1866 und 1867, in welchen die schon von Olbers vermuthete Wiederkehr des grossen Sternschnuppenschauers im November (nach 33jähriger Pause) stattfand, einen neuen, mächtigen Aufschwung erhalten. Aus einem wenig beachteten und vernachlässigten Stiefkinde der Astronomie, welches man bisher in der astronomischen Welt ziemlich allgemein nicht für berechtigt hielt, ein Gegenstand strengerer Forschung zu sein, hat sich die Wissenschaft der Sternschnuppen und die Erforschung ihres wahren kosmischen Ursprunges und ihrer Beziehungen zu anderen Weltkörpern plötzlich zu einem Lieblingsgegenstande der Beschäftigung und der sorgfältigsten Untersuchungen von Seiten vieler und ausgezeichneten Astronomen entfaltet und emporgeschwungen, unter denen der Verfasser dieses Werkes, Prof. Joh. Virgin. Schiaparelli in Mailand, sich vorzugsweise um die Begründung dieser neuen Aera in der Sternschnuppenkunde verdient gemacht hat.

Die Arbeiten dieses Forschers sind allerdings schon durch mehr oder weniger ausführliche, theils populäre, theils mehr wissenschaftliche Darstellungen bekannt geworden: alle diese fussen aber noch zum grossen Theile auf den ersten Untersuchungen und Arbeiten Schiaparelli's, mit denen er in seinen Briefen an P. Secchi und in seinen „Note e Riflessioni etc.“ die wissenschaftliche Welt überrascht hatte. Auch haben einige dieser Darstellungen manche Einzelheiten, sowie die Endresultate der Forschungen Schiaparelli's nicht immer ganz richtig und getreu wiedergegeben und ihm zuweilen sogar falsche oder unwahrscheinliche Ansichten zugeschrieben.

Dieser Umstand, sowie seine neueren eingehenden Studien über die Bahnverhältnisse der Sternschnuppenströme und über die Beziehungen zwischen Sternschnuppen, Kometen und Meteoriten, — endlich die Benutzung des bisher noch nirgends publicirten, äusserst reichhaltigen und werthvollen Beobachtungsmateriales von Herrn Jos. Zezioli in Bergamo haben den Verfasser veranlasst, eine zweite völlig umgearbeitete Ausgabe seiner „Note e Riflessioni etc.“ zu veranstalten, und zwar zunächst ausschliesslich in deutscher Sprache, um seinem Werke eine grössere Verbreitung zu verschaffen. —



Als ich durch die freundliche Vermittelung des Herrn Prof. Galle in Breslau mit Herrn Prof. Schiaparelli wegen Uebernahme der Uebersetzung dieses Werkes aus dem italienischen Manuscript in nähere Verbindung trat, tauchten allerdings viele und gerechte Bedenken in mir auf, ob ich bei meiner, besonders im Anfange, geringen Geübtheit in der italienischen Sprache dieser Aufgabe auch gewachsen sei. Diese Bedenken habe ich nur einigermaßen überwinden können, zum Theil in Folge der wohlwollenden Aufmunterung von Seiten des Verfassers und mehrerer meiner astronomischen Freunde, zum Theil in Folge der freudigen Genugthuung, die es mir gewährte, den mit der Geschichte der Sternschnuppenkunde viele Jahre hindurch so eng verknüpften Namen meines unvergesslichen, vor 20 Jahren verstorbenen, Vaters durch meine Thätigkeit und Mitwirkung bei Herausgabe dieses Werkes mit der einst angestrebten, jetzt aber erst durch Herrn Prof. Schiaparelli streng mathematisch und klar durchgeführten Begründung einer astronomischen Theorie der Sternschnuppen in Verbindung bringen zu können.

Inzwischen habe ich bei der hiernach nicht ohne innere Bedenken von mir übernommenen und ausgeführten Uebersetzung und Herausgabe dieses neuesten Werkes von Herrn Prof. Schiaparelli über die Sternschnuppen mich bemüht, den italienischen Text des Verfassers möglichst wortgetreu, dabei aber doch der deutschen Sprachweise Rechnung tragend, wiederzugeben. Die in dieser Hinsicht etwa noch vorkommenden Mängel und Ungenauigkeiten sind demgemäss lediglich mir, dem Uebersetzer, und nicht dem Verfasser zuzuschreiben und bitte ich dieselben, wo es sein kann, zu entschuldigen.

Im Verein mit dem Verfasser ersuche ich ferner den wohlwollenden Leser die, wegen der weiten Entfernung unserer beiden Wohnorte, Mailand und Stettin, und der dadurch veranlassten Weitläufigkeit und Verzögerung unserer Correspondenz nach dem Drucke der einzelnen Bogen nothwendig gewordenen nachträglichen Correcturen und Abänderungen des Textes — deren Verzeichniss sich vor dem ersten Bogen des Textes befindet — vor dem Lesen des Werkes gefälligst beachten und berücksichtigen zu wollen.

Schliesslich statue ich dem Herrn Prof. Galle für seine freundliche Betheiligung an einer Nach-Correctur der einzelnen Bogen, sowie dem Verleger für die würdige Ausstattung dieses Buches hiermit öffentlich meinen Dank ab.

Stettin, im Mai 1871.

G. von Boguslawski.



## Vorwort des Verfassers.

In den letzten Jahren haben die kosmischen Meteore die Aufmerksamkeit der wissenschaftlichen Welt in hohem Grade auf sich gezogen; ihr Studium hat auch ausserhalb des engen Kreises der Astronomen von Fach allgemeines Interesse erregt. Die bestätigte Periodicität des grossen Novemberphänomenes, die Classification der Meteore nach einer grossen Zahl von Systemen mit einem, oder mit mehreren Radiationspunkten, endlich der kürzlich entdeckte Zusammenhang der Sternschnuppen mit den Kometen; — alle diese Umstände haben in der Geschichte dieses Zweiges der Astronomie eine denkwürdige Epoche bezeichnet. Diejenigen Schriften, welche irgend eine Beziehung zu den Fortschritten der Sternschnuppenkunde haben, können deshalb auch einem grösseren Publikum nur willkommen sein. Aus diesem Grunde dürfte vielleicht die Veröffentlichung dieses Buches nicht unzeitgemäss erscheinen; ich habe in ihm, in einer möglichst klaren und verständlichen Form, den Inhalt der verschiedenen Abhandlungen zu vereinigen gesucht, welche ich in den letztverflossenen Jahren über diesen Gegenstand zu schreiben Gelegenheit hatte, sowie die Frucht später von mir, nach der Veröffentlichung obiger Abhandlungen<sup>1)</sup>, angestellter Untersuchungen und Beobachtungen niedergelegt.

---

<sup>1)</sup> Die Titel dieser Abhandlungen sind:

(1) *Intorno al corso ed all'origine probabile delle stelle meteoriche*, fünf Briefe an P. Secchi v. *Bullettino Meteorologico dell'Osservatorio del Collegio Romano*, Roma 1866 und 1867.

(2) *Note e Riflessioni sulla teoria astronomica delle stelle cadenti*, public. in d. *Memorie della società italiana delle scienze*. Serie III Vol. I. Firenze 1867.

(3) *Sulla velocità delle meteore cosmiche nel loro movimento a traverso dell'atmosfera terrestre*, public. in d. *Rendiconti del R. Istituto Lombardo di scienze e lettere*, anno 1868 p. 34 etc.

(4) *Osservazioni generali sulla forma delle radiazioni meteoriche*, public. in d. *Rendiconti etc.* anno 1870 p. 16 etc.

(5) *Alcuni risultati preliminari tratti dalle osservazioni delle stelle cadenti*, v. *Effemeridi astronomiche di Milano* pel 1870 pag. 436 etc.



Ich hoffe, dass auch dieser Schrift die Nachsicht der sachkundigen Forscher zu Theil wird, mit welcher meine früheren Arbeiten beurtheilt worden sind. Zur Bequemlichkeit für eine grössere Anzahl von Lesern, und um eine grössere Klarheit in der Reihenfolge der Beweisführungen zu erhalten, habe ich dem Texte eine mehr gemeinfassliche Form gegeben und einer Reihe von Noten am Ende des Werkes die Entwicklung derjenigen Sätze vorbehalten, welche irgendwie complicirte Rechnungen erfordern, oder welche zu unbequeme und zu beträchtliche Abschweifungen gebildet haben würden, wenn sie mit in den Text aufgenommen wären.

Ein Hauptinteresse dieses Buches besteht vornehmlich in den Beobachtungsergebnissen, die ich aus den Verzeichnissen von Herrn Jos. Zezioli in Bergamo gewonnen habe. Dieser unermüdliche Beobachter hat in wenigen Jahren ein beträchtliches Material von Sternschnuppenbeobachtungen gesammelt; seine Thätigkeit würde sicherlich noch die schönsten Früchte für die Sternschnuppenkunde gezeitigt haben, wenn er nicht, in Folge häuslicher Unglücksfälle, am 2. December 1870 sich selbst das Leben genommen hätte. Ich empfehle den Astronomen das Andenken an einen Mann, den nur die Missgunst des Schicksals verhindert hat, die Stelle einzunehmen, die ihm unter den Pflegern der Astronomie gebührte.

Es sei mir noch gestattet, hier öffentlich meinen Dank an Herrn Prof. J. G. Galle, Director der Sternwarte zu Breslau, abzustatten, welcher sich für das Erscheinen dieser deutschen Bearbeitung meines Werkes freundlichst interessirte; — nicht minder aber auch an Herrn G. von Boguslawski zu Stettin, welcher die beschwerliche Mühe der Uebersetzung und Herausgabe dieses Buches bereitwilligst übernommen und ausgeführt hat. —

Mailand, im April 1871.

J. V. Schiaparelli.



## Verzeichniss

### der Druckfehler und nachträglichen Verbesserungen.

(S. Vorwort des Herausgebers.)

|       |     |          |         |                |                                                                                                                                  |
|-------|-----|----------|---------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Seite | 2   | Zeile    | 29      | v. oben        | „der Atmosphäre“ fällt weg.                                                                                                      |
| „     | 3   | „        | 11      | „              | statt: irgend eine Theorie, lies: einige Theorien.                                                                               |
| „     | 8   | „        | 14      | „              | „mit der Erde“ fällt weg.                                                                                                        |
| „     | 11  | „        | 21      | „              | statt: eiförmigem, lies: conoidischem.                                                                                           |
| „     | 14  | „        | 2       | v. unt.        | „im Verlauf“ fällt weg.                                                                                                          |
| „     | 17  | „        | 5       | „              | statt: bilden die Klasse, lies: gehören zur Klasse.                                                                              |
| „     | 18  | „        | 8       | v. oben        | statt: der Aërolith . . . welcher . . . vermochte, lies: jene Stücke des Meteoriten . . . welche . . . vermochten.               |
| „     | 19  | „        | 32      | „              | statt: bei diesen letzteren Erscheinungen, lies: in dem letzten Theile der Bahn.                                                 |
| „     | 23  | „        | 15      | „              | „von Didion“ fällt weg.                                                                                                          |
| „     | 26  | „        | 8       | „              | statt: Meteoren, lies: Meteoriten.                                                                                               |
| „     | 27  | „        | 6       | „              | statt: die alleinige, lies: einzig und allein die.                                                                               |
| „     | 27  | „        | 14      | v. unt.        | statt: so auf ihrer Rinde, lies: bei ihrer Entladung.                                                                            |
| „     | 32  | „        | 25      | v. ob.         | statt: Untersuchung bis gezogen, lies: Untersuchungsmethode verdanken, bei welcher keine anderen Elemente gebraucht werden . . . |
| „     | 66  | „        | 16      | „              | statt: zu $\sqrt{2} - 1$ , lies: zu $\sqrt{2}$ .                                                                                 |
| „     | 72  | „        | 14      | v. unt.        | statt: 6878, lies: 6868.                                                                                                         |
| „     | 72  | „        | 10      | „              | statt: 699, lies: 689.                                                                                                           |
| „     | 77  | „        | 16      | v. ob.         | statt: Tabelle III, lies: Tabelle II.                                                                                            |
| „     | 78  | „        | 21      | „              | statt: als die, welche, lies: da dieselbe.                                                                                       |
| „     | 79  | „        | 21      | „              | statt: wird zwischen, lies: ist der kleinere von.                                                                                |
| „     | 79  | „        | 22      | „              | „am kleinsten sein“ fällt weg.                                                                                                   |
| „     | 79  | „        | 9       | v. unt.        | statt: Bogen R“, lies: Bogen R“Y.                                                                                                |
| „     | 80  | „        | 1       | v. ob.         | statt: Bewegungsknoten, lies: Begegnungsknoten.                                                                                  |
| „     | 80  | „        | 26      | „              | statt: welches den drei, lies: welches einem der drei.                                                                           |
| „     | 91  | No. 141  | Perihel |                | statt: 322, lies: 316.                                                                                                           |
| „     | 92  | „        | 187     | Länge des Apex | statt: 183, lies: 182.                                                                                                           |
| „     | 99  | Zeile 19 | v. oben |                | statt: $28^\circ + 50^\circ$ , lies: $82^\circ + 50^\circ$ .                                                                     |
| „     | 105 | „        | 2       | „              | statt: OD, lies QD.                                                                                                              |
| „     | 105 | „        | 18      | „              | statt: $\tan \frac{1}{2} \zeta$ lies: $\tan \frac{1}{2} z$ .                                                                     |
| „     | 110 | „        | 1       | v unten        | statt: $10^h 17^m$ lies: $10^h 27^m$ .                                                                                           |
| „     | 117 | „        | 25      | v. oben        | statt: 1,0225, lies: 1,0125.                                                                                                     |
| „     | 167 | „        | 10      | „              | statt: $\sqrt{\frac{1}{M}}$ lies: $\sqrt[3]{\frac{1}{M}}$ .                                                                      |
| „     | 200 | „        | 3       | „              | ist zwischen Sande und herab das Wort begleitet einzuschalten.                                                                   |



## VIII

Auf Tafel I sind die Positionen der No. 8, 39, 81, 90, 96, 100, 101, 141, 168 nach den unten folgenden Correctionen und nach den Angaben auf Seite 84—93 zu corrigiren.

Auf Tafel III Fig. 18 fehlt der Buchstabe T in dem Dreieck MTt.

Die Revision der Tabelle der Radianten Seite 84—93 hat einige Fehler in den Elementen einiger Radianten auffinden lassen; die corrigirten Elemente der betreffenden Nummern sind:

|                                     | No. 8 | No. 39 | No. 81 | No. 90 | No.100 | No.168 |
|-------------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Länge des Radianten vom<br>Apex aus | +10°  | —163°  | —99°   | —90°   | —32°   | —120°  |
| Scheinbare Elongation vom Apex      | 53    | 132    | 93     | 90     | 42     | 116    |
| Wahre " " "                         | 87    | 164    | 138    | 135    | 70     | 155    |
| Neigung und Richtung                | 87R   | 16D    | 39D    | 42D    | 62R    | 15D    |
| Aufsteigender Knoten                | 298   | 328    | 97     | 107    | 116    | 230    |
| Perihel                             | 134   | 156    | 305    | 322    | 212    | 90     |
| Periheldistanz                      | 0,981 | 0,995  | 0,942  | 0,909  | 0,544  | 0,883  |



## Capitel I.

### Ueber die Bewegung der Sternschnuppen in der Atmosphäre der Erde.

1. Als Grundlage aller unserer Betrachtungen über die kosmischen Meteore stellen wir die Voraussetzung hin, dass diese Meteore Körper sind, welche im Himmelsraume umherschweifen und uns erst dann sichtbar werden, nachdem sie in die Atmosphäre der Erde eingedrungen sind. Dies ist gegenwärtig allgemein als eine Thatsache anerkannt, welche nicht in Zweifel gezogen werden kann, obgleich immer noch Einige beharrlich diese Meteore als eine rein terrestrische Erscheinung betrachten wollen.

Noch vor wenigen Jahren suchte Kesselmeyer zu beweisen, dass die Meteoriten das Product der Condensation der vulcanischen Aushauchungen der Erde seien <sup>2)</sup> und noch in neuester Zeit sind zwei Schriften von R. Brück erschienen, in denen er den Ursprung der Sternschnuppen mit den Variationen des Erdmagnetismus in Zusammenhang zu bringen sucht. <sup>3)</sup> Die Ansichten von Coulvier-Gravier und seines Nachfolgers Chapelas über eine von ihnen angenommene Beziehung zwischen den atmosphärischen Erscheinungen und den Sternschnuppen sind zu bekannt, als dass sie weiter erwähnt zu werden brauchten. <sup>4)</sup> Aber diese Anhänger des atmosphärischen Ursprunges der Meteore sind heute zu vereinzelt, und die Kraft ihrer Beweisgründe scheint nicht gross genug zu sein, als dass es sich noch der Mühe lohnen sollte,

---

<sup>2)</sup> Ueber den Ursprung der Meteoriten. Frankfurt a. M. 1861.

<sup>3)</sup> L'origine des étoiles filantes. Bruxelles 1868. Etude sur la physique du globe. Bruxelles 1869.

<sup>4)</sup> Recherches sur les météores et sur les lois qui les régissent, par Coulvier-Gravier. Paris 1859.



mit ihnen über ihre Beweise noch irgendwie streiten zu wollen. Und sollte es auch wirklich noch heute Anhänger des Ptolemäischen Systemes und Gegner der Newtonschen Gravitation geben, wer beschäftigt sich noch mit ihnen? Wir wollen daher bei unseren Untersuchungen uns damit begnügen, beiläufig, wenn sich eine Gelegenheit dazu bieten sollte, diejenigen That-sachen anzuführen, welche dazu dienen, die wichtigeren Einwürfe gegen den kosmischen Ursprung der mit Recht sogenannten kosmischen Meteore zu widerlegen.

2. Das Studium der Bewegung dieser Körper wird besonders dadurch erschwert, dass sie erst in einer sehr kleinen Entfernung von der Erde sichtbar werden. Nach einer neueren Untersuchung von Prof. Weiss<sup>5)</sup> werden die Meteore des August erst in Höhen sichtbar, welche geringer sind als 180 Kilom. (24 d. Meilen): die mittlere Höhe ihres Aufleuchtens scheint von 115 Kilom. ( $15\frac{1}{2}$  d. M.) wenig verschieden zu sein, während die ihres Verlöschens im Mittel 88 Kilom. (12 d. M.) beträgt. Prof. Newton hat aus 78 in Amerika angestellten Bestimmungen für die November-Meteore die mittlere Höhe des Aufleuchtens zu 155 Kilom. (21 d. M.) bestimmt, und die des Verlöschens zu 98 Kilom. (13 d. M.).<sup>6)</sup> Wir können also die Meteore nur dann beobachten, wenn sie uns sehr nahe sind und wenn ihre Winkelbewegung in Bezug auf unser Auge sehr schnell geworden ist. Dies hindert in hohem Grade aber eine genaue Beobachtung dieser Körper. Die Thatsache ferner, dass sie bei ihrem Erscheinen nicht allmählich an Licht zunehmen, sondern plötzlich in ihrem vollen Glanze erscheinen, zeigt, dass die Ursache ihres Erscheinens von einer gewissen Höhengrenze der Atmosphäre abhängt; es lässt sich schwer irgend eine andere Ursache hievon vorstellen, als ihr Eintauchen in die Atmosphäre der Erde. Es fehlt zwar in der That nicht an solchen, welche glauben, dass diese Körper von der Sonne erleuchtet werden, und, indem sie ihr Verschwinden durch ihr Eintauchen in den Schatten der Erde erklären, hieraus eine Methode zur Berechnung der Höhe ihres Verlöschens herleiten.

Die Widerlegung dieser Hypothese ist indessen sehr leicht, auch ist es wahrscheinlich, dass sie von ihrem Urheber selbst jetzt aufgegeben sein wird.

Die oben angegebenen Grenzen bezeichnen die Höhe, in welcher die Sternschnuppen anfangen, dem blossen Auge sichtbar zu werden. Es ist möglich, dass diese Höhe für die

<sup>5)</sup> Beiträge zur Kenntniss der Sternschnuppen. Sitzungsberichte der Wiener Akademie. LVII. Band. 1868.

<sup>6)</sup> American journal of Science II. Ser. Vol. XL. p. 251.



teleskopischen Meteore grösser sei. Hierauf dürfte auch die im Vergleich langsame Bewegung hindeuten, welche man öfters bei denjenigen Meteoren bemerkt hat, die, zufällig für die Beobachter, das Gesichtsfeld ihrer Fernröhre durchstrichen haben <sup>7)</sup>. Die Erfahrungen über diesen Gegenstand sind aber noch zu unvollständig, um hierauf Schlüsse von irgend welcher Haltbarkeit gründen zu können.

3. Die Höhe, in welcher die Meteore sich entzünden (auch wenn man die Fälle von ausnahmsweise grosser Höhe als zweifelhaft ausschliesst) ist gewöhnlich beträchtlich grösser als diejenige, welche irgend eine Theorie über die Beschaffenheit der Atmosphäre (z. B. die von Biot, Young, Schmidt, Lubbock, Plana) den oberen Grenzen derselben zuweist. Diese theoretischen Höhenangaben der Atmosphäre variiren zwischen 28 Kilometer (Young) und 47 Kilometer. Nicht weit über diese Grenzen reicht die Höhe, welche die Beobachtungen der Dämmerung der Atmosphäre zuschreiben dürften <sup>8)</sup>. Man hat hierin einen Beweis finden wollen dafür, dass die Entzündung

---

<sup>7)</sup> Am 28. Juni 1795 sah Schroeter zu Lilienthal ein sehr kleines Meteor, welches eine Secunde brauchte, um das Feld seines Reflectors zu durchstreifen, das  $\frac{1}{4}$  Grad umfasste (Aphroditograph. Fragmente p. 241—242). Schroeter schloss hieraus, dass seine Entfernung viele Male grösser gewesen sei, als die der gewöhnlichen Meteore. Wichtig für diesen Gegenstand sind ferner die Beobachtungen, welche 1839 von Mason, welcher bei der Gradmessung von Pennsylvania thätig war, gemacht worden sind. Unter 50 teleskopischen, von ihm in den ersten 10 Tagen des August 1839 beobachteten, Meteoren schien der grössere Theil sich nicht mit grösserer Geschwindigkeit zu bewegen, als die mit blossen Auge gesehenen, obgleich die Vergrösserung seines Reflectors das 80fache betrug. Aus diesem Umstande, verbunden mit der Erwägung des scheinbaren Glanzes, leitete Mason ihre Entfernung ab nach einer Methode, welche der von W. Herschel für die Fixsterne angewandten beinahe ähnlich ist. Er glaubte, dass manche teleskopische Meteore höher sein könnten, als 1200 engl. Meilen (Trans. of the Phil. Amer. Soc. Philadelphia. 1843). In ähnlicher Weise interpretirte Schmidt seine Beobachtungen der teleskopischen Meteore (Resultate aus 10jährigen Beobachtungen über Sternschnuppen, Berlin 1852 — pag. 170). Mir schien es natürlicher und wahrscheinlicher anzunehmen, dass teleskopische Sternschnuppen existiren, welche wegen ihrer geringen Masse einen grösseren relativen Widerstand in der Luft erleiden und sich deshalb weniger schnell als andere bewegen. Uebrigens scheint man nach den Untersuchungen von Erman (Uebersicht der Untersuchungen über die Sternschnuppen in Erman's Archiv Bd. XXV. Heft 3) schwer läugnen zu können, dass einige Sternschnuppen in einer Höhe von wenigstens 100 deutschen Meilen erscheinen, also ein Drittel der Entfernung, welche Mason angegeben hat.

<sup>8)</sup> Nach den sorgfältigen Untersuchungen von J. F. Schmidt variirt die untere Grenze der Höhe der Atmosphäre, hergeleitet aus dem Dämmerungsbogen, periodisch mit den Jahreszeiten zwischen dem Maximum von 10,34 deutschen Meilen (77 Kilometer) im December und dem Minimum von 7,70 d. Meilen (57 Kilom.) im Juni oder Juli. Wiener Sitzungsberichte 50. Band.



der Meteore nicht von ihrem Eindringen in die Atmosphäre der Erde herrühre, jedoch mit Unrecht. Es ist in der That zuvörderst hinreichend bekannt, dass wir keine genügenden experimentellen Angaben besitzen, um zu einer sicheren theoretischen Bestimmung der Beschaffenheit der Atmosphäre in ihren oberen Schichten zu gelangen: ferner sind die über diesen Gegenstand von vielen grossen Mathematikern publicirten Arbeiten grösstentheils nur scharfsinnige Rechnungsübungen, deren Endresultate keine grössere Genauigkeit gewähren, als die mehr oder weniger willkürlichen Hypothesen, die der analytischen Beweisführung zu Grunde liegen.

Die Dämmerungsbeobachtungen geben ferner die Höhe derjenigen Theile der Atmosphäre, in denen noch materielle Theilchen suspendirt bleiben können, welche fähig sind eine wahrnehmbare Lichtmenge zu reflectiren. Sie beweisen, dass die Atmosphäre nicht etwa aufhört jenseits der Grenze, die ihr von dem Dämmerungsbogen zugewiesen ist, sondern nur, dass sie über diese Grenze hinaus nicht mehr fähig ist, wahrnehmbar erleuchtet zu werden. Neuere Experimente von Tyndall beweisen, dass ein Raum voll von Materie sein und dennoch optisch leer erscheinen, d. h. kein wahrnehmbares Licht reflectiren kann<sup>9)</sup>. Anstatt also in der Höhe der Atmosphäre, wie sie die theoretischen Betrachtungen oder die Dämmerungsmessungen ergeben, eine Schwierigkeit zu erblicken, können wir den umgekehrten Schluss machen, dass die Höhe der Atmosphäre grösser sein muss, als wie sie die oben ange-deuteten Methoden angeben, und dass sie ohne Zweifel 200 Kilometer übersteigen muss. Dieser Schluss scheint durch die Beobachtungen von Liais in Amerika über die Polarisation des nächtlichen atmosphärischen Lichtes und noch mehr durch die in den Vereinigten Staaten unternommenen Bestimmungen der Höhe der Nordlichtbogen bestätigt zu werden. —

4. Poisson hat im Jahre 1837 versucht, die damals allgemein angenommenen Angaben über die Höhe der Atmosphäre mit den von Brandes und seinen Mitarbeitern über die Höhe der Sternschnuppen angestellten Messungen zu vereinen, indem er annahm, dass die Atmosphäre, in welcher das Entzünden der Sternschnuppen stattfindet, irgend wie von derjenigen verschieden sei, welche wir hier unten einathmen. Er sagt wörtlich:<sup>10)</sup> „Il est difficile d'attribuer, comme on le fait, leur incandescence à un frottement contre les molecules de

<sup>9)</sup> Revue des cours scientifiques, 1869. p. 242 ff.

<sup>10)</sup> Recherches sur la probabilité des jugements. Paris 1837.



l'air<sup>11)</sup>. Ne pourrait-on pas supposer que, le fluide électrique à l'état neutre forme une sorte d'atmosphère, qui s'étend beaucoup au delà de la masse d'air, qui est soumise à l'attraction de la terre, quoique physiquement impondérable et qui suit en conséquence notre globe dans ses mouvements? Dans cette hypothèse les corps dont il s'agit, en général les aérolithes, en entrant dans cette atmosphère impondérable, décomposeraient le fluide neutre par leur action inégale sur les deux électricités, et ce serait en s'électrisant qu'ils s'échaufferaient et deviendraient lumineux.“

Aehnlich, aber nicht identisch, ist die neuerdings von Quetelet vertheidigte Hypothese: nach dieser würde die Atmosphäre der Erde eine Höhe haben, welche hinreichend sei, um die Entzündung der Meteore hervorzubringen, aber sie sei in zwei Schichten von verschiedener Beschaffenheit getheilt, von denen die untere der Sitz der gewöhnlichen meteorologischen Erscheinungen sein dürfte, während in der oberen die Nordlichter entstehen und die Sternschnuppen sich entzünden dürften. In dieser oberen, unbeweglichen und von keinem Sturm gestörten Schicht, bis zu welcher sich keine Wolke erhebt, ist es nach Quetelet möglich, dass die verschiedenen, die Atmosphäre zusammensetzenden Theile mit Leichtigkeit nach ihrer Dichtigkeit sich über einander lagern, und dass

---

<sup>11)</sup> Schon damals war die Ansicht, welche das Entzünden der Meteore der Reibung der Luft beimisst, nicht so allgemein als Poisson hier anzunehmen scheint. In Wirklichkeit war diese Ansicht schon von Chladni 1794 aufgestellt worden (Ueber den Ursprung der von Pallas entdeckten Eisenmasse §. 5); aber einige Zeit nachdem man die durch die Zusammendrückung der Gase entstehende Wärmeentwicklung entdeckt hatte, schrieb Chladni einer ähnlichen Entwicklung die Wärme der Meteorkörper zu. „Da die ursprüngliche Bewegung der Feuerkugeln mehrere Meilen in einer Secunde beträgt, da sie auch nicht etwa in senkrechter Richtung, sondern in einer fast horizontalen über sehr beträchtliche Strecken Landes geht, so muss nothwendig durch die Compression der Luft, wenn diese auch sehr dünn ist, eine Hitze erregt werden, welche äusserst beträchtlich und vollkommen hinreichend ist, um Alles, was an diesen Massen brennbar ist, zu entzünden und manche andere Bestandtheile zu schmelzen oder zu erweichen.“ (Chladni Feuermeteore p. 33—34). Genau derselben Ansicht war Sir H. Davy, wie man in einer seiner Abhandlungen lesen kann, die er der R. Soc. in London am 25. Januar 1817 einsandte und die zum Theil in Gilberts Annalen der Physik Bd. 56. p. 241 abgedruckt ist. Davy sagt dort: „Das Licht der Sternschnuppen und Meteore kann nicht von einem Entflammen elastischer Flüssigkeiten herrühren, sondern von dem Glühen fester Körper. Diese Körper bewegen sich in grossen Höhen mit einer ungeheuren Geschwindigkeit, bei welcher sie fähig sind, in der allerverdünntesten Luft eine Verdichtung zu bewirken, aus ihr hinlänglich viel Wärme zu entbinden, um diese Körper zu entzünden.“ Ich habe absichtlich diese Stellen angeführt, weil in der letzten Zeit Viele etwas Neues gefunden zu haben glaubten, wenn sie die Compression der Luft als eine der Ursachen einführten, welche während des Fallens des Meteores Wärme hervorbrächten.



sie sich als gleichförmige Schichten entwickelten, sei es indem sie sich untereinander vermischten, sei es indem sie sich trennthielten. Es ist nicht nöthig anzunehmen, sagt er, dass jede Schicht genau ebenso zusammengesetzt sei, wie die unmittelbar unter ihr befindliche: es kann sogar stattfinden, dass die Atmosphäre auf ihrer Oberfläche Stoffe von geringerem specifischen Gewichte trägt, die nicht fähig sind, sich mit den niedriger befindlichen Substanzen zu verbinden oder zu vermischen<sup>12)</sup>.

5. Wie aber auch die Zusammensetzung der Atmosphäre in dieser Höhe beschaffen sein mag, welche kein Mensch je erreichen wird, ein Umstand ist gewiss, für welchen wir nächstens unwiderlegliche Beweise vorbringen werden, nämlich der, dass der leuchtende Theil der von den kosmischen Meteoren beschriebenen Bahn sich in einem widerstehenden Mittel befindet. Wir nehmen an, dass dieses widerstehende Mittel einen Theil der Atmosphäre der Erde bilde, ohne etwas über ihre Beschaffenheit und Zusammensetzung aussprechen zu wollen. Der einzige Theil der Bahn, in welchem wir die Meteore sehen können, ist also der, welchen ihr Lauf durch die Atmosphäre bezeichnet; aus der Beobachtung dieses Theiles muss man die von dem Meteor vorher durchlaufene kosmische Bahn ableiten. Bevor wir also zur astronomischen Theorie der Sternschnuppen schreiten, müssen wir die Veränderungen untersuchen, welche ihr Eintauchen in die Erdatmosphäre in ihrer Geschwindigkeit und in ihrer primitiven Richtung hervorbringt. —

Wir wollen zunächst vor Allem die Einwirkungen untersuchen, welche die verschiedenen Bewegungen, an denen die Atmosphäre Theil nimmt, auf die Bahn der Meteore ausüben können. Diese Einwirkungen sind von den letzten Parteigängern der atmosphärischen Theorie der Sternschnuppen besonders übertrieben worden, und dies in der Absicht, um die auf sichere Grundlagen gestützte astronomische Theorie als unmöglich nachzuweisen. Aber schon eine vorläufige und oberflächliche Betrachtung reicht hin zu beweisen, dass, wenn die Bewegungen der Atmosphäre irgend welche Abweichungen von der ursprünglichen Richtung der Meteore hervorbringen und auf die Natur ihrer Bahnen einwirken können, diese Abweichungen und Einflüsse doch im Allgemeinen schon bei einer ersten Annäherung zu vernachlässigen sind.

6. Einwirkung der Rotation der Atmosphäre auf die Bahn der Sternschnuppen.

Die erste und allgemeinste Bewegung der Atmosphäre

---

<sup>12)</sup> Météorologie de la Belgique comparée à celle du globe. Bruxelles. 1867. (Introduction p. VII.)



ist die der täglichen Rotation, welche sie mit den übrigen Theilen unseres Planeten gemein hat. Ihre Richtung ist für jeden Ort der Erde von Westen nach Osten, ihre Geschwindigkeit beträgt für die aequatorialen Gegenden 465 Meter in einer Secunde, für die Breite von  $45^{\circ}$  328 Meter. Die Geschwindigkeit der Sternschnuppen ist öfters direct gemessen worden, man kann unabhängig von jeder theoretischen Speculation als gewiss behaupten, dass ihre Geschwindigkeit oft grösser ist als die der Erde in ihrer jährlichen Bahn. Die Annahme, dass die Sternschnuppen zu uns mit einer relativen Geschwindigkeit von 30,000 Meter in einer Secunde gelangen, wird also nicht übertrieben sein<sup>13)</sup>. Nehmen wir nun an, dass unter dem Parallel von  $45^{\circ}$  ein Meteor mit obiger Geschwindigkeit ankomme und in genau verticaler Richtung niederfalle: bei seinem Eintritt in die rotirende Atmosphäre der Erde wird es einen horizontalen Antrieb erhalten; dieser Einfluss, zuerst unmerklich, dann zunehmend, wird damit endigen, dem Meteor eine horizontale Geschwindigkeit zu geben, gleich derjenigen der Atmosphäre. Dies kann natürlich nur nach und nach geschehen; dennoch wollen wir der Einfachheit wegen, und um der Einwirkung der rotirenden Atmosphäre alle nur denkbare Gewalt einzuräumen, annehmen, dass das Meteor die horizontale Geschwindigkeit der Atmosphäre am Ende des ersten Augenblicks in welchem es in sie eingedrungen ist, erhält. Alsdann wird das Meteor nicht in der Richtung des Erdradius niederfallen, sondern wird eine schräge von Westen nach Osten geneigte Linie beschreiben, welche mit der verticalen den Winkel von  $37' 35''$  macht; dieser Winkel hat zur Tan-

gente das Verhältniss  $\frac{328}{30,000}$ , nämlich das der Geschwindigkeit der Atmosphäre zur Geschwindigkeit der Sternschnuppe. Die an sich sehr kleine Abweichung würde dem Beschauer immer unbemerkt bleiben, welcher, indem er an der rotirenden Bewegung der Atmosphäre Theil nimmt, das Meteor genau vom Zenith herabfallen sehen würde<sup>14)</sup>. Umgekehrt, wenn das Meteor genau in der Richtung des Erdradius herabgefallen wäre, ohne irgend eine Einwirkung von der Atmosphäre erfahren zu haben, so würde der Beschauer das Meteor in einer etwas gegen den Erdradius geneigten Richtung haben herab-

<sup>13)</sup> Nimmt man  $8''.85$  als wahrscheinlichsten Werth der aequatorialen Horizontalparallaxe der Sonne an, so ist die mittlere Bahngeschwindigkeit der Erde 29593 Meter in einer Secunde.

<sup>14)</sup> Hierbei ist die Krümmung der Erde und der atmosphärischen Schichten nicht in Rechnung gezogen, deren Effect bei dieser Rechnung für das Gesamtergebnis unmerklich ist. —



kommen sehen; der Derivationspunkt würde, anstatt sich im Zenith zu befinden,  $37' 35''$  östlich von ihm gelegen sein. —

7. Bei diesem Stande der Dinge können wir sagen, dass der Widerstand der Atmosphäre zur festen Bestimmung des Ausgangspunktes dient, welcher in Ermangelung der Atmosphäre einer Aberration unterworfen sein würde, ähnlich der täglichen Aberration des Lichtes. Immerhin hat man aber in Wahrheit ein davon etwas verschiedenes Phänomen. Bei dem Eintritt in die Atmosphäre wird das niederfallende Meteor nicht plötzlich, sondern allmählich abgelenkt: deshalb wird die Bahnlinie in der Luft, welche bei ihrem Beginne die Tangente an die ursprüngliche Richtung im leeren Raume ist, sich krümmen und erst nach ziemlich geraumer Zeit wird ihre Richtung dieselbe sein, welche wir mit der Erde kurz zuvor beschrieben haben. In dem obigen (§. 6) von uns betrachteten Falle kann der Winkel zwischen der ursprünglichen Richtung und der letzten, oder abgelenkten,  $37' 35''$  nicht übersteigen. Der Beobachter wird das Meteor längs einer leicht gekrümmten Linie herabfallen sehen, für deren oberen Theil der Ausgangspunkt ein vom Zenith nicht weiter als  $37' 35''$  abstehender Punkt ist, während der untere Theil mit seiner Tangente auf das Zenith hinweisen wird, wann das Meteor am Ende seiner Bahn den vollen horizontalen Antrieb erfahren haben wird, den ihm die rotirende Luft mittheilt. So klein ist also der Effect für eine Sternschnuppe längs der Verticalen. Für geneigte Bahnen wird diese Wirkung geringer sein im Verhältniss des Sinus des Winkels, welchen sie mit der West-Ost-Linie machen, d. h. mit der Richtung der Rotationsbewegung der Erde. In keinem Falle wird diese Einwirkung für die Beobachtungen wahrnehmbar sein. —

8. Einfluss der Winde. Wir können mit noch grösserem Gewichte dasselbe in Bezug auf den Einfluss der Winde bestätigen, denen Coulvier-Gravier so grosse Wichtigkeit beimisst. Ohne Zweifel beugen sie etwas die Bahnlinien, aber diese Beugung ist noch unmerklich für einen Wind von gleicher Geschwindigkeit mit der der Erdrotation, welche unter dem Parallel von  $45^\circ$  noch geringer ist, als die des Schalles. Um die Wirkungen der Ablenkung und der Krümmung zu erhalten, welche Coulvier-Gravier behauptet, müsste man nothwendig Winde annehmen, deren Geschwindigkeiten 30, 40, ja 50mal grösser seien, als die der Rotation der Erde, welche also in einer Stunde oder in einer halben Stunde einen vollen Umlauf um die Erde machen würden! Bei solcher Geschwindigkeit würde die Centrifugalkraft unsere Atmosphäre in die planetarischen Räume hinausschleudern, und wir würden in einer noch vollkommneren Leere zurückbleiben, als das Va-



cuum des Barometers ist. Man kann sich aber eine genaue Vorstellung davon verschaffen, was die Winde in Bezug auf die Krümmung der Bahnlinien der Sternschnuppen vermögen, wenn man die leuchtenden Dunststreifen betrachtet, welche die Sternschnuppen bisweilen hinter sich lassen, die ähnlich den Kometenschweifen sind und nicht selten mehrere Minuten lang anhalten.

Wenn irgend etwas dem Impulse der atmosphärischen Bewegungen gehorchen muss, so sind es sicherlich diese nebelartigen Massen, deren vorherige Geschwindigkeit so überaus schnell durch den Widerstand der Luft vernichtet wird. Die Beobachtung zeigt, dass solche Lichtschweife längere Zeit hindurch gleichsam unbeweglich bleiben; man muss ein sehr geübtes Auge haben, um Spuren der langsamsten Bewegung zu sehen und längere Zeit abwarten, um an ihnen irgend eine bemerkliche Formveränderung zu constatiren. Man kann also in den oberen Schichten der Atmosphäre unmöglich solche Winde annehmen, die fähig sind, die Meteore von ihrer Bahn merklich abzulenken.

9. Einwirkung des Widerstandes der Luft auf die Richtung der Meteore. Bahncurven. Eine sehr merkwürdige Thatsache, welche auch häufig von den Verfechtern der atmosphärischen Theorie der Meteore (besonders von Coulvier-Gravier) zu ihren Gunsten ausgelegt wird, ist die zuweilen sehr merkliche Krümmung, welche man an einigen Bahnen beobachtet hat. Dieses sonderbare Phänomen zeigt sich unter verschiedenen Formen. Sehr häufig kann man an der Bahn der Sternschnuppen eine Oscillation, oder so zu sagen, eine Unsicherheit der Richtung bemerken, welche bewirkt, dass das Meteor sich langsam bald nach links bald nach rechts hinbiegt, indem es, anstatt einen grössten Kreis, eine etwas wellenförmige Curve beschreibt. Zuweilen ereignet es sich, dass die Bahnlinie sich derart krümmt, dass ihre scheinbare Richtung sich um einen sehr beträchtlichen Winkel ändert, welcher sogar  $180^{\circ}$  erreichen kann.

Nicht selten ist das Phänomen der schlangenförmigen Krümmung, bei welcher das Meteor eine stark ausgebogte Linie beschreibt. Zuweilen kommt es vor, dass die Bahn zum Theil geradlinig, zum Theil gekrümmt ist. Besonders bemerkenswerth ist der Fall, wenn die anfangs geradlinige Bahn in der ersten Richtung sich fortsetzt, aber in Schlangenwindungen, oder der umgekehrte Fall, wenn die Anfangs sich schlängelnde Linie als gerade endigt, aber die allgemeine Richtung des ursprünglichen Laufes beibehält. Die Figuren 1—6 geben eine Vorstellung von diesen verschiedenen Formen; sie sind aus den Beobachtungsjournalen von Herrn Zezioli



entnommen <sup>15)</sup>). Eine Durchsicht dieser Journale ergiebt unter 6853 beobachteten Bahnen folgende Resultate:

|    |                                 |
|----|---------------------------------|
| 48 | zeigten sich als krumm, gebogen |
| 24 | - - - wellenförmig              |
| 22 | - - - geschlängelt              |
| 10 | - - - schwankend.               |

Man sieht hieraus, dass die unregelmässigen Bahnen häufig genug sind und dass sie noch häufiger sein würden, wenn die geringe Länge der meisten Bahnen die Beobachter in vielen Fällen nicht verhinderte, ihre Krümmung wahrzunehmen.

10. Alle diese sonderbaren Erscheinungen erfordern nicht gerade die Beihülfe des Windes, oder vielfacher atmosphärischer Strömungen, welche eine Sternschnuppe hin und her bewegen, als wenn sie leichte Federn wären, die der Gewalt eines Sturmwindes überlassen seien. Wenn eine Sternschnuppe in die Atmosphäre eindringt, so sind es zwei Kräfte von bestimmter und bekannter Beschaffenheit, von welchen ihre Bewegung abhängt: die Schwere und der Widerstand des Mittels. Man kann sich nun leicht überzeugen, dass während der sehr kurzen Zeit zwischen dem Aufleuchten und dem Verlöschen der Sternschnuppe die Einwirkung der Schwere als nicht vorhanden betrachtet werden kann. Wir haben also nur den Widerstand der Luft in Erwägung zu ziehen. Wenn die Sternschnuppe, ein einfacher materieller Punkt wäre, oder eine homogene Kugel ohne eine merkliche Rotation, so würde ein solcher Widerstand, indem er stets in einer der Bewegung entgegengesetzten Richtung wirkt, nicht hinreichen, diese Richtung zu verändern, und wenn die Bewegung im leeren Raume geradlinig war, so wird sie auch noch geradlinig sein und bleiben unter dem Einflusse des widerstehenden Mittels. Wenn aber im Gegentheil der Meteorkörper eine rotirende Bewegung, oder keine sphärische Gestalt hat, oder wenn diese beiden Umstände sich combiniren, so wird in jedem Momente die Resultante aller Widerstände eine Richtung haben, verschieden von derjenigen der Bewegung des Schwerpunktes des Meteores, und wird eine Seitencomponente hervorbringen, welche fähig ist, die Bahn in merklicher Weise zu krümmen. Man erkennt hieraus, dass die Bewegung der Sternschnuppen in der Atmosphäre den complicirteren Problemen der Ballistik angehört. —

---

<sup>15)</sup> Ich werde oft Gelegenheit haben, die Beobachtungen dieses fleissigen Beobachters der Meteore zu citiren. Wenn ich mich häufiger auf Zezioli, als auf andere Beobachter beziehe, so rührt dies daher, dass mir seine Beobachtungsjournale in aller Vollständigkeit zur Disposition stehen. —



11. Olbers stellte sich 1837 die Möglichkeit vor, dass man gekrümmte oder selbst aufsteigende Bahnen aus dem Widerstande der Luft ableiten könne, sobald sie sich als Körper mit einer von der Kugelform sehr abweichenden Gestalt in der Luft bewegen. „Gewiss kann der Widerstand der verdichteten Luft, besonders wenn die Feuerkugeln keine regelmässige Kugel —, sondern eine mehr abgeplattete unregelmässige Gestalt haben, wohl eine wellenförmige, schlängelnde auf und ab und auch seitwärts gekrümmte Bahn bewirken, wie denn schon unsere Knaben solche Windungen an den von ihnen geworfenen Austerschalen und platten Steinen bemerken.“<sup>16)</sup>

Um diese so einfache und natürliche Erklärung der Eigenthümlichkeit der gekrümmten Bahnen zu erläutern, werde ich hier einige Beispiele der Bewegung von Wurfgeschossen in den widerstehenden Mitteln anführen, in welchen analoge, wenn auch nicht mit denen der Sternschnuppen völlig vergleichbare, Erscheinungen vorkommen. —

12. Bewegung der Kugeln von gezogenen Geschützen. Diese Kugeln sind nicht sphärisch, sondern meist oblong von eiförmigem Profil: sie haben eine um die Axe ihrer Figur rotirende Bewegung, welche ihnen von den Windungen des Geschützes eingeprägt ist. Ihre Bahn in der widerstehenden Luft kann einige Aufklärung über die von den Sternschnuppen beschriebenen Bahnen geben. Die Bestimmung der Bewegung dieser Projectile ist ein Problem von grosser Schwierigkeit, welches in Italien von dem Grafen Paolo di St. Robert, und später nach den von St. Robert aufgestellten Principien in Russland von dem General Mayewski und von verschiedenen anderen Schriftstellern behandelt worden ist<sup>17)</sup>. Die wichtigsten Resultate ihrer Untersuchungen sind folgende. Während der Schwerpunkt des oblongen Geschosses seine Bahn in der Luft beschreibt, dreht sich die Axe der Figur desselben um die Tangente, indem sie eine konische Fläche beschreibt. Die Zahl der Umdrehungen kann zwei oder drei betragen und ist um so grösser, je beträchtlicher

<sup>16)</sup> Schumacher's Jahrbuch f. 1837 p. 51—52.

<sup>17)</sup> **S. Robert**, Etudes sur la trajectoire que décrivent les projectiles oblongs, Paris 1859—1860. **S. Robert**, Du mouvement des projectiles lancés par les armes à feu rayées Paris. 1861. **Mayewski**. Bulletin de l'Acad. de St. Petersbourg t. VIII. **Siacci** Della resistenza dell' aria sopra i progetti oblungi e della loro traiettoria. Torino 1868. Experimente von Hansteen über nicht homogene sphärische Geschosse und hierauf bezügliche Betrachtungen von Schmidt mit Anwendung auf kosmische Meteore s. b. **Schmidt**, Resultate aus 10jährigen Beobacht. p. 102—110.



die Anfangsgeschwindigkeit der Bewegung ist. Diese konische Bewegung bringt entsprechende Krümmungen in der von der Kugel beschriebenen Bahn hervor, welche aber nicht gross genug sind, um die allgemeine Richtung zu ändern; die daraus entspringenden Undulationen betragen in transversalem Sinne nur wenige Zolle. Aber das sonderbarste Phaenomen besteht in einer seitlichen Ablenkung des Geschosses, vermöge deren es sich nicht in einer verticalen Ebene bewegt, sondern beständig nach rechts oder nach links abgelenkt wird und zwar nach der Richtung hin, nach welcher die Windungen des Geschützes verlaufen. Die Projection der Bahn auf eine horizontale Ebene ist deshalb nicht die gerade Linie, welche die Richtung der Axe der Seele bezeichnet, sondern eine Curve, welche diese Linie an dem Ausgange der Mündung tangirt, und zwar eine wellenförmige Curve, welche in ihrem allgemeinen Gange (in den von Mayewski behandelten Fällen) von einem Kreisbogen wenig verschieden ist, und deren Abweichung von der ursprünglichen Richtung desto schneller wächst, je weiter sie fortschreitet. Mayewski hat gefunden, dass ein oblonges Geschoss von 14 Pfund, unter einem Winkel von  $10^{\circ}$  mit einer Anfangsgeschwindigkeit von 1004 englischen Fuss in der Secunde abgeschossen, nach einem Wege von 8400 Fuss nach rechts um nicht weniger als 40 Fuss abweicht; die Bewegungsverhältnisse sind der Art, dass, wenn das Geschoss nicht von dem Erdboden aufgehalten würde, diese Abweichung damit endigen würde, die Bahnlinie völlig umzukehren und sie nach dem Ausgangspunkte wieder zurück zu führen, nachdem sie in horizontalem Sinne einen grossen Kreislauf gemacht hätte. Ein solcher Kreislauf würde einem Kreise mit einem Halbmesser von 882000 Fuss oder 270 Kilometer gleich werden, wenn die Umstände der Bewegung beinahe constant blieben. Eine Haubitze von 4 Pfund, welche unter einem Winkel von  $45^{\circ}$  bis zu einer Entfernung von 1316 Fuss geworfen ist, weicht während dieses Laufes um nicht weniger als 27 Fuss ab; die Horizontal-Projection der Bahn ist von dem Bogen eines Kreises von 32000 Fuss oder 10 Kilometer Radius sehr wenig verschieden. Diese hier beschriebenen Wirkungen haben während der kurzen Bahn, welche die Artillerie-Geschosse gewöhnlich zurücklegen, keine Gelegenheit, sich in allen ihren Consequenzen zu entfalten, sie gestatten aber die Art und Weise der Wirkung zu begreifen, wenn die Bahnen der Geschosse bis ins Unendliche verlängert würden. — Auch muss man hierbei annehmen, dass die Krümmung und die Ausbiegungen der Bahnlinie viel merklicher sein würden, wenn es sich um Geschosse von weniger regelmässiger Form handelte, welche dem Wi-



derstande der Luft eine zu ihrer Masse verhältnissmässig grössere Fläche darbieten würden. —

13. Wirkungen des Bumerang. Eine Vorstellung von dem Einflusse der Figur des Geschosses auf die Form der Bahnlinie kann man aus der Betrachtung der seltsamen Curve gewinnen, welche die Eingebornen Australiens mit ihrem gefährlichen Bumerang in der Luft beschreiben lassen. Dr. Erdmann hat über die Gestalt dieser Geschosse und über die verschiedenen Arten der von ihnen beschriebenen Bahnlinien interessante Notizen gegeben, die auf eigene von ihm gemachte Experimente gegründet sind<sup>18)</sup>. Man stelle sich ein 50 Centimeter langes, 5 Centimeter breites, 1 Centim. dickes Brettchen vor, welches auf einer Seite flach, auf der andern convex und in seiner Ebene in Form eines hyperbolischen Bogens gekrümmt ist; man stelle es sich ferner an einem seiner Enden der Art gedreht vor, dass eine Fläche, welche in einer Ebene war, ein wenig windschief wird. So ungefähr ist der Bumerang beschaffen (Fig. 7). Man wirft nun dieses Geschoss in der Weise, dass man ihm eine schnelle Rotation um eine zu der Ebene des Instrumentes senkrechten Axe mittheilt. Die windschiefe Fläche wird gleichsam wie die Schraube bei den Dampfschiffen wirken und in jedem Augenblicke die Richtung der Bewegungsebene und der Rotationsaxe verändern. Man kann auf verschiedene Weise das Geschoss fortschleudern, so dass es, nachdem es in der Luft eine grosse Krümmung gemacht hat, beinahe zu dem Schützen zurückkehrt. Diese Waffen scheinen den Ureinwohnern des westlichen Europas nicht unbekannt gewesen zu sein; die alten Celten bedienten sich deren mit gleicher Geschicklichkeit, wie die Australier. Wahrscheinlich war die von Isidor von Seviglia beschriebene *cateja*<sup>19)</sup> nicht anders als eine Art von Bumerang. —

14. Schraubenförmige von dem Widerstande der Luft hervorgebrachte Bewegung. Wenn die Bewegung eines Geschosses der Art ist, dass am Ende gewisser Perioden sich dieselben Umstände genau wiederholen, welche die Bewegung bestimmten, so wird diese nach ähnlichem Gesetze sich wiederholen, wie die vorhergehende Bewegung, deshalb wird das Geschoss eine solche Curve beschreiben, dass ihre Theile ähnlich und sich deckend sind. Eine solche Curve im Raume kann aber keine andere sein als die Schrau-

<sup>18)</sup> Poggend. Annal. 1869. Bd. 137 p. 1—18.

<sup>19)</sup> Est genus Gallici teli, ex materia quam maxime lenta, quae jacta quidem non longe propter gravitatem evolat, sed quo pervenit, vi nimia perfringit: quod si ab artifice mittatur, rursus redit ad eum, qui misit. Isidori Hispalensis. Orig. XVIII.



benlinie oder ihre besonderen Fälle: die gerade Linie und der Kreis. Wenn die Umstände sich wiederholen, aber nicht genau in derselben Weise, so hat die Curve mit den eben erwähnten Linien nur eine allgemeine Aehnlichkeit. Man kann für diese Bewegungen einige Beispiele anführen. Ein Schiff, dessen Steuerruder genau dieselbe schräge Lage constant beibehält, wird auf der Oberfläche des Wassers einen Kreis beschreiben, oder eine Art von Spirale, wenn seine Geschwindigkeit nicht constant ist. Bei der Bahn der oblongen Geschosse der gezogenen Kanonen findet man, dass jeder Umdrehung, welche die Axe des Geschosses bei ihrer konischen Bewegung um die Tangente derselben macht, eine Windung einer sehr in die Länge gezogenen Schraubenlinie entspricht; dies giebt der Bahn einen wellenförmigen Anblick. Auch der Bumerang fällt in gewissen Fällen herab, indem er die Windungen einer Schraube beschreibt<sup>20)</sup>. Den Grund, warum gewisse Vögel häufig in Spiralen oder in kreisförmigen Umläufen fliegen, kann man in ähnlicher Weise in der Leichtigkeit suchen, womit solche Curven entstehen, wenn die Flügel unbeweglich in einer gegebenen Stellung bezüglich des übrigen Körpers beharren. Man kann auch leicht solche schraubenförmige Bewegungen mittelst Kartenblätter von oblonger Gestalt hervorbringen, indem man sie von einem erhöhten Standpunkte frei fallen lässt. In den ersten Augenblicken wird die Bewegung etwas unbestimmt sein, aber bald wird sich eine Rotationsbewegung um eine Axe dauernd einstellen, welche nach der grössten Länge der Figur gerichtet ist<sup>21)</sup>; indem das Blatt in dieser Weise schnell rotirt, wird es bei seinem Niederfallen eine ziemlich regelmässige Schraubenlinie beschreiben. Durch eine Aenderung der Gestalt und der Dimensionen des Kartenblättchen kann man sehr verschiedene Schraubenlinien erhalten. —

15. Vermittelst dieser Betrachtungen und Analogien kann man, wie wir glauben, alle die sonderbaren Erscheinungen erklären, welche man bei den Curven bemerkt, die von den Sternschnuppen beschrieben werden. Man wird begreifen, weshalb unter diesen Curven die wellenförmigen oder schraubenförmigen Linien so bedeutend vorherrschen. Die Geschwindigkeit der Sternschnuppen kann leicht 100mal grösser sein

<sup>20)</sup> Erdmann l. c. p. 12 fig. 15 und 15a.

<sup>21)</sup> Diese Axe ist diejenige, für welche das Moment des Widerstandes, den die Luft der Rotation des Kartenblattes entgegensetzt, das kleinstmögliche ist. Wenn man annimmt, dass der Widerstand der Luft für jedes Element der rotirenden Fläche proportional dem Quadrate der Geschwindigkeit ist, so fällt die Axe im Verlauf mit der des kleinsten Trägheitsmoments zusammen.



als die der Kugeln von gezogenen Kanonen. Wenn es wahr ist, dass der Widerstand des Mittels mit dem Quadrate der Geschwindigkeit, oder nach einem noch schnelleren Verhältniss zunimmt, so wird man leicht begreifen, wie auch in dünneren Schichten der Atmosphäre ein Widerstand entstehen könne, welcher im Stande ist, alle die eben beschriebenen Wirkungen hervorzubringen. Man wird hieraus auch die selteneren Erscheinungen erklären können, welche die Beobachter erwähnen. Man wird alsdann begreifen, wie eine Sternschnuppe in ihrem Erscheinen plötzlich stille halten oder auf dem schon eingeschlagenen, oder doch von diesem wenig verschiedenen Wege wieder umkehren könne: es genügt hiefür, dass der Beobachter O. (Fig. 8) sich auf einer der Tangenten befindet, die man an den sichtbaren Theil der Curve ziehen kann<sup>22)</sup>. Wenn zufällig der Berührungspunkt zugleich ein Wendepunkt ist (Fig. 9), so wird man die Sternschnuppe einen Augenblick in ihrem Laufe innehalten und hernach in der ursprünglichen Richtung wieder fortziehen sehen<sup>23)</sup>. Eine schraubenförmige Bewegung mit sehr lang gestreckten Windungen wird eine oscillirende Bahn hervorbringen, die bei den Meteoren nicht gerade selten vorkommt. Wenn die Windungen breit und kurz sind, so wird die Bahn geschlängelt erscheinen und eine Reihe von Rückgangspunkten oder auch von Knoten zeigen können, je nach der Neigung der Schraubenaxe gegen die Gesichtslinie<sup>24)</sup>. Da endlich die Krümmung der Bahn auch von unten nach oben stattfinden kann, so haben wir darin eine genügende Erklärung der aufsteigenden Sternschnuppen, falls man ihre Existenz nothwendigerweise annehmen müsste.

16. Die bei den Meteorbahnen beobachteten Unregelmässigkeiten geben uns wichtige Aufschlüsse über gewisse Fragen, welche sonst sehr dunkel bleiben würden. Zunächst bestätigen sie uns auf die bestimmteste Weise, dass der leuchtende Theil dieser Bahnen ein widerstehendes Mittel durchstreift: denn sonst wäre es nicht leicht einzusehen, wie die oben erwähnten Unregelmässigkeiten entstehen könnten. Sodann erlangen wir

<sup>22)</sup> Eine solche Erscheinung ist von mir am 22. August 1856 an einem teleskopischen Meteor gesehen worden. Analog damit ist die Beobachtung von Bode am 3. Juni 1812, über welche er im Berliner Jahrbuch f. 1816, p. 149 berichtet. Aber, da die Beobachtung von Bode am hellen Tage gemacht worden ist, so ist man nicht sicher, ob das Object, welches er durch das Feld seines Fernrohres hindurchziehen gesehen hat, wirklich eine Sternschnuppe gewesen ist.

<sup>23)</sup> Diese Erscheinung ist von Coulvier-Gravier am 26. Februar 1853 beobachtet worden.

<sup>24)</sup> Von den schlangenförmigen Bahnen giebt Faye eine andere Erklärung in den Comptes Rendus t. LXIII. 1100, welche weniger natürlich erscheint. S. auch Schmidt Resultate etc. p. 102—110.



durch sie die Gewissheit, dass die Körper, aus deren Entzündung die Sternschnuppen entstehen, feste Körper seien. Wenn die Sternschnuppen in der That völlig flüssige oder gasförmige Körper wären, so würden sie bei dem Zusammentreffen mit der Atmosphäre entweder unmittelbar zerstreut werden, oder nur in genau geradlinigen Bahnen in sie eindringen. Die schraubenförmigen Bewegungen geben uns völlige Gewissheit, dass bestimmte meteorische Körper eine Rotation um eine feste oder veränderliche Axe haben. Diese Rotation kann schon im Himmelsraum stattgefunden haben; sie kann aber auch durch den Widerstand der Luft hervorgerufen sein, nämlich alle Male dann, wenn die auf die verschiedenen Elemente des Meteorkörpers von dem Luftwiderstand ausgeübten Kräfte nicht eine einzige durch den Schwerpunkt des Körpers gehende Resultate haben. Die Rotation der Meteorkörper scheint ebenfalls einfacher und natürlicher die periodischen Variationen der Lichtintensität zu erklären, welche bisweilen die Sternschnuppen während der kurzen Zeit ihres Erscheinens zeigen<sup>25)</sup>.

17. Der feste Zustand der Sternschnuppen ist in den neuesten Zeiten öfters geleugnet worden, besonders von denen, welche die Sternschnuppen und die Meteormassen als Erscheinungen von verschiedener Natur betrachten. Einige halten die Sternschnuppen für Gasmassen, für Andere ist dies noch zu viel, sie sehen diese Meteore als sehr leichte Flocken einer nebelartigen im Raume zerstreuten Materie an, ohne näher zu erklären, welche Eigenschaften diese Nebelmaterie habe. Gegen diese Ansichten sprechen ausser den schon oben angegebenen viele Thatsachen. Zunächst ist es schwer zu begreifen, wie so äusserst dünne Massen, als welche man sich doch die Sternschnuppen vorstellt, so weit in die Atmosphäre eindringen können, da doch diese viel dichter als die Sternschnuppen sein muss, indem sie der Attraction der ganzen Masse der Erde unterworfen ist, welche sie um sich verdichtet erhält. In vielen Fällen hat man Sternschnuppen sogar bis zu der Höhe einer deutschen Meile herabsteigen gesehen, also noch niedriger als die Höhe, welche Glaisher und Coxwell bei ihren Luftreisen erreichten, Behrmann hat sogar noch eine Sternschnuppe tiefer als die Wolken herabsteigen gesehen; ich will hierbei einige sehr seltene Fälle übergehen, in denen man Sternschnuppen auf die Erde herabfallen und dort eine feste Materie absetzen gesehen hat, denn diese Fälle können bestritten werden.

---

<sup>25)</sup> Zezioli berichtet 4 Fälle von Meteoren, deren Bahn in der Mitte ihres Laufes unsichtbar war, und 4 andere Fälle, in denen das Meteor mehrere Male abwechselnd erschien und verschwand.



Sodann, selbst zugegeben, dass die Sternschnuppen gasartige Massen seien von ähnlicher Beschaffenheit als die irdischen Gase, so fragt man sich, wie diese im Raume unter dem Einflusse der inneren repulsiven Kräfte und unter der Einwirkung der verschiedenen Anziehungen, welche die Sonne auf die verschiedenen Theile eines und desselben Meteores ausübt, sich nicht hätten zerstreuen müssen. Wir werden später sehen, dass auch, abgesehen von den Abstossungen, der auflösende Einfluss der Sonne der Art ist, dass kein gasartiger Körper und kein Schwarm von pulverartiger Materie in dem die Erde umgebenden Raum vereint bleiben kann, wenn ihre mittlere Dichtigkeit geringer ist als die der Atmosphäre unter einem Drucke von 0,174 Millimeter.

Drittens ist es nicht leicht zu erklären, angenommen, dass die Sternschnuppen gasförmige Massen seien, wie und warum einige von ihnen längs ihres Laufes Funken sprühen, auf welche Weise sich manche Sternschnuppen in zwei oder mehrere Stücke theilen, wenn sie an das Ende ihrer Bahn gelangt sind, während andere hierbei eine wahre Explosion erleiden, indem sie nach allen Seiten hin Funken auswerfen.

Endlich haben die spektroskopischen Beobachtungen gezeigt, dass in vielen Fällen die leuchtende Materie des Kernes fest oder flüssig, aber im glühenden Zustande, ist, weil sie ein continuirliches Spektrum giebt. Und wenn andere Spektra gasartig sind, so rührt dies wahrscheinlich von der sehr hohen Temperatur her, bei welcher das Meteor am Ende seiner Bahn in Dämpfe aufgelöst worden ist.

18. Wir kommen jetzt zur Betrachtung der Wirkung des Widerstandes der Atmosphäre auf die Geschwindigkeit der Meteore. Diese Wirkung ist verschieden für die verschiedenen Arten von Meteoren und auch je nach der grösseren oder geringeren Tiefe der atmosphärischen Schichten, in welche sie herabsteigen. Die Sternschnuppen, deren Bahnen sich in den höheren Theilen der Atmosphäre befinden, wo ihre Dichtigkeit sehr klein ist, zeigen bei der Schnelligkeit ihrer Bewegung, dass in ihnen die ursprüngliche kosmische Geschwindigkeit sich noch zum grossen Theile erhalten hat. Bisweilen kommt es vor, dass die scheinbare Geschwindigkeit abgenommen hat und die Dauer der Lichterscheinung einige Secunden beträgt: diese weniger schnell sich bewegend Meteore bilden die Klasse der sogenannten Bolide, welche in die tieferen Regionen herabsteigen und zuweilen mit einer intensiven Detonation zerplatzen. Wenn endlich das Meteor während seiner Bahn durch die Atmosphäre sich nicht völlig aufgelöst hat und unter der Form der Meteoriten



herabfällt, so ist die Gewalt, mit welcher es den Erdboden trifft, nicht mehr so gross, wie man es bei einer planetarischen Geschwindigkeit erwarten müsste. Im Allgemeinen machen sie in den Erdboden keinen grösseren, sehr oft sogar einen geringeren Eindruck, als eine Kanonenkugel von gleichem Gewichte. Man kann viele Beispiele von Aerolithen anführen, welche in den Erdboden kaum wenige Centimeter eingedrungen sind: wie der Aerolith von Pultusk (1868), welcher das Eis des Narew nicht zu brechen vermochte; das Pallaseisen, welches man offen auf der Oberfläche des Bodens liegend fand. Selbst die Meteorite von Hradschina in Croatien (1751) und von Knyahinya in Ungarn (1866), deren Fallgeschwindigkeit grösser als gewöhnlich gewesen zu sein scheint, sind in die Erde nur wenige Fuss tief eingedrungen. —

Zur Erklärung dieser Erscheinungen ist es nöthig, das Problem der Bewegung der kosmischen Meteore analytisch zu lösen. Bei dem gegenwärtigen Zustande der Wissenschaft ist es aus vielen Gründen unmöglich, diese Lösung in einer strengeren und allgemeineren Form zu geben. In der I. Note im Anhang dieser Schrift haben wir den Fall einer homogenen Kugel betrachtet, welche durch die Schichten der Atmosphäre mit geradliniger, verticaler oder schräger Bewegung sich abwärts bewegt<sup>26)</sup>. Durch einen besonderen Kunstgriff ist dort die Schwierigkeit eliminirt, welche von unserer Unkenntniss über die Beschaffenheit der oberen Schichten der Atmosphäre herrührt. Dies gestattet uns, in Bezug auf die Bewegung der Meteore einige Schlussfolgerungen zu ziehen, welche von den Gesetzen der Dichtigkeit der atmosphärischen Schichten und des Widerstandes der Luft völlig unabhängig sind; sie lassen sich folgendermassen ausdrücken:

I. Wenn ein Meteor, das mit einer gewissen Geschwindigkeit in die Atmosphäre eintritt, nach Zurücklegung einer gewissen Strecke zu einem andern Punkte gelangt, so hängt der Verlust der Geschwindigkeit von der Luftmenge ab, mit welcher das Meteor längs seines Laufes zusammentrifft, aber nicht von dem Gesetze, nach welchem diese Luft bezüglich ihrer Dichtigkeit vertheilt ist, und auch nicht von der Länge des durchlaufenen Raumes.

II. Wenn der Meteorkörper sphärisch ist, so ist bei sonst ganz gleichen Umständen der Druck  $\mu$ , welcher demjenigen Punkte entspricht, für den die Geschwindigkeit von dem ursprünglichen Werthe  $u_0$  auf einen anderen Werth  $u$ , reducirt wird, direct proportional dem Radius des Geschosses,

---

<sup>26)</sup> S. Erste Note: Ueber den Widerstand der Atmosphäre gegen die Bewegung der kosmischen Meteore.



seinem specifischen Gewichte und dem Sinus des Winkels, welchen die Falllinie mit dem Horizonte macht. Wenn also z. B. von zwei in die Atmosphäre mit derselben Geschwindigkeit und in derselben Richtung hineingeworfenen Körpern von derselben Materie, der eine einen Durchmesser von einem, der andere von zwei Centimetern hat, so werden ihre Geschwindigkeiten auf denselben Werth reducirt werden, wenn der Atmosphärendruck für den Punkt, wohin der erste Körper gelangt, die Hälfte von dem Drucke ist, welcher an demjenigen Punkte stattfindet, zu dem der zweite Körper gelangt ist. Wenn von zwei geworfenen Körpern von gleichem Durchmesser und Gewicht, welche in die Atmosphäre mit gleicher Geschwindigkeit eintreten, der eine vertical, der andere unter einem Winkel von  $30^\circ$  gegen den Horizont, niederfällt, so werden ihre Geschwindigkeiten auch noch gleich sein, sobald der Atmosphärendruck an dem, von dem ersten Körper eingenommenen Orte doppelt so gross ist, als der Druck an dem Orte, den der zweite Körper inne hat (weil  $\sin 30^\circ$  die Hälfte von  $\sin 90^\circ$  ist). Die Meteorkörper von grösserem Durchmesser, die dichter und die Meteore, welche in möglichst nahezu verticaler Richtung niederfallen, werden also mit grösserer Gewalt bis zu einer bestimmten Höhe herabsteigen. —

III. Sobald die Geschwindigkeit auf einen kleinen Bruchtheil der ursprünglichen reducirt ist, hängt die Bewegung des Wurfgeschosses nur zum kleinsten Theile von der Anfangsgeschwindigkeit ab: mit andern Worten, wenn man mehrere Meteore hat, welche in die Atmosphäre mit sehr grosser, aber sehr verschiedener Geschwindigkeit eintreten, so wird diese, unter sonst ganz gleichen Umständen, in derselben Höhe nur wenig verschieden sein, sobald ihre Bewegung sich sehr verlangsamt hat; das Gesetz des Falles wird bei diesen letzteren Erscheinungen gleichsam unabhängig von der Anfangsgeschwindigkeit sein<sup>27)</sup>. —

19. Wenn man eine Vorstellung von dieser Art der Bewegung haben will, so muss man eine Hypothese über das Gesetz des Luftwiderstandes aufstellen; von einem solchen Gesetze haben wir aber bis jetzt nur sehr unvollkommene Kenntniss. Indem ich die empirische Hypothese annahm, welche General Didion aus den von ihm selbst, von Hutton und von Piobert über die sphärischen Geschosse der Artillerie ange-

<sup>27)</sup> Diese Schlussfolgerung ist schon von Benzenberg erkannt worden. „Es ist ziemlich einerlei, mit welcher Geschwindigkeit ein Körper in die Atmosphäre tritt; ehe er 10 Meilen durchlaufen, wird sie nahe dieselbe sein, er möge mit einer einfachen oder mit einer dreifachen Geschwindigkeit angefangen haben, gegen die Erde zu fallen.“ Chladni, Feuermeteore p. 27—28.



stellten Experimente hergeleitet hat<sup>28)</sup>, habe ich die Umstände der Bewegung zweier sphärischer Geschosse von 4 Centimeter Durchmesser und der Dichtigkeit 3,5 (welche die gewöhnliche Dichtigkeit der Meteorsteine ist) berechnet, wenn diese vertical in die Atmosphäre mit verschiedenen Geschwindigkeiten eintreten, nämlich mit 72000 und 16000 Meter in der Secunde<sup>29)</sup>. In der ersten Spalte der folgenden beiden Tabellen ist die übrigbleibende Geschwindigkeit angegeben, welche das meteorische Wurfgeschoss besitzt, wenn es diejenige Schicht der Atmosphäre erreicht, wo der Luftdruck die in der zweiten Spalte angegebene correspondirende Höhe erreicht (in Millimetern der Quecksilbersäule des Barometers ausgedrückt):

| <b>Tabelle I.</b><br>Anfangsgeschwindigkeit = 72000 m. |                              | <b>Tabelle II.</b><br>Anfangsgeschwindigkeit = 16000 m. |                              |
|--------------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------|
| Uebrigbleibende<br>Geschwindigkeit.                    | Entsprechender<br>Luftdruck. | Uebrigbleibende<br>Geschwindigkeit.                     | Entsprechender<br>Luftdruck. |
| m.                                                     | mm.                          | m.                                                      | mm.                          |
| 72000                                                  | 0,000                        | 16000                                                   | 0,000                        |
| 60000                                                  | 0,038                        | 14000                                                   | 0,121                        |
| 48000                                                  | 0,096                        | 12000                                                   | 0,283                        |
| 36000                                                  | 0,192                        | 10000                                                   | 0,507                        |
| 24000                                                  | 0,383                        | 8000                                                    | 0,840                        |
| 12000                                                  | 0,950                        | 6000                                                    | 1,390                        |
| 8000                                                   | 1,508                        | 4000                                                    | 2,463                        |
| 4000                                                   | 3,130                        | 2000                                                    | 5,496                        |
| 2000                                                   | 6,163                        | 1000                                                    | 10,870                       |
| 1000                                                   | 11,539                       | 500                                                     | 19,633                       |
| 500                                                    | 20,301                       |                                                         |                              |

Diese Zahlen zeigen die Bestätigung der letzten Schlussfolgerung des vorigen §. 18: die Geschwindigkeit von 72000 Meter des ersten Geschosses wird in derjenigen atmosphärischen Schicht auf 500 Meter reducirt, wo der Druck 20,301 mm. beträgt, während die von 16000 Meter in dem Punkte der Atmosphäre, wo der Luftdruck 19,633 mm. beträgt, auf denselben Werth reducirt wird. Die beiden Geschosse werden

<sup>28)</sup> Bezeichnet man mit R die Anzahl der Kilogramme und setzt diese gleich dem Widerstande der Luft von gewöhnlicher Dichtigkeit gegen ein sphärisches Geschoss mit dem Radius von r Meter, das sich mit der Geschwindigkeit von u Meter in der Secunde fortbewegt, so hat man nach Didion:

$R = 0.0260 \pi r^2 u^2 \left(1 + \frac{u}{400}\right)$ . Die Einzelheiten dieser Rechnung siehe bei Note I.

<sup>29)</sup> Ich habe dabei ungefähr die Grenzen der Geschwindigkeit angenommen, mit welcher die Sternschnuppen in die Atmosphäre eintreten, wie weiter unten gezeigt werden wird.



also fast dasselbe Gesetz der Bewegung befolgen, wenn sie in dichtere Schichten gelangen. Die ungeheure Verminderung der Geschwindigkeit der Meteore schon in den dünneren Luftschichten scheint aber noch bemerkenswerther zu sein. Die Einwendungen Derjenigen, welche nicht begreifen konnten, wie sich in den äusserst dünnen Schichten, in denen die Sternschnuppen sich entzünden, ein so grosser Widerstand sich entwickeln könne, schwinden alsdann. Man wird ebenso leicht begreifen, dass die Fallgeschwindigkeit der Aerolithen gewöhnlich eine so mässige sei. Diese Körper haben bei ihrem Durchgange durch die Atmosphäre gleichsam alle ihre kosmische Geschwindigkeit verloren; diejenige, mit welcher sie niederfallen, rührt hauptsächlich von der Einwirkung der Schwere her, welche gerade dann erst anfängt, sich bemerklich zu machen, wenn die kosmische Geschwindigkeit fast zerstört ist; dies kann in wenigen Secunden geschehen. —

Mit Hülfe der vorigen Tabellen kann man für sphärische Aerolithe von beliebigem Durchmesser und beliebiger Dichte und mit beliebig gegen die Verticale geneigten Bahnen analoge Resultate erhalten: es genügt hierzu, die in dem vorigen §. unter No. II. gemachten Schlussfolgerungen anzuwenden. —

20. Man kann ebenfalls erkennen, dass der grösste Geschwindigkeitsverlust und deshalb auch der grösste Verlust an lebendiger Kraft in den ersten Augenblicken nach dem Eindringen des Meteors in die Atmosphäre und in Luftschichten von ausserordentlicher Dünne stattfindet. So hat das oben betrachtete Geschoss, von welchem wir annahmen, dass es mit einer kosmischen Geschwindigkeit von 16000 Meter in die Atmosphäre eintritt,  $\frac{3}{4}$  von seiner Geschwindigkeit und  $\frac{15}{16}$  von seiner lebendigen Kraft verloren, sobald es in eine Schicht gelangt, wo der Luftdruck 2,463 mm. beträgt. Wenn also das Glühendwerden des Meteors von der Umwandlung eines Theiles der ihm innewohnenden lebendigen Kraft in Wärme herrührt, so musste das Glühen in denjenigen sehr dünnen und sehr hohen Schichten entstehen, in welchen der Luftdruck noch geringer ist als 2,463 mm. Noch merkwürdiger ist der Fall, wenn das Geschoss eine Anfangsgeschwindigkeit von 72000 Meter hat. Gelangt ein solches in eine Schicht, wo der Luftdruck 1,508 mm. beträgt, so hat es  $\frac{8}{9}$  von seiner Geschwindigkeit und  $\frac{80}{81}$  von seiner lebendigen Kraft verloren. Für dieses Meteor von grösserer Geschwindigkeit hat die Wärmeentwicklung fast ganz in den Schichten stattfinden müssen, wo der Luftdruck geringer ist als 1,508 mm. Vergleicht man nun für diese beiden Fälle den jedesmaligen



Verlust an lebendiger Kraft, so findet man, dass die Grösse dieses Verlustes bei einem Meteore mit einer Anfangsgeschwindigkeit von 16000 Meter, bevor es die Luftschicht mit dem Drucke von 2,463 mm. erreicht, zu der Grösse des Verlustes (an lebendiger Kraft) bei einem Meteor mit einer Anfangsgeschwindigkeit von 72000 Meter, bevor dieses in eine Luftschicht mit dem Drucke von 1,508 mm. gelangt, sich verhält wie  $\frac{15}{16} \times 16^2 : \frac{80}{81} \times 72^2$  oder wie 3 : 64. Obgleich

also das zweite Meteor nicht so tief als das erste herabsteigt, so hat es doch Gelegenheit gefunden, ungefähr 21mal mehr an lebendiger Kraft zu verlieren, und deshalb wahrscheinlich auch eine um so grössere Menge von Wärme zu entwickeln: hieraus folgt der wichtige Schluss, dass die stärker leuchtenden Meteore im Allgemeinen auch die höheren sind, durch welchen eine von einigen Beobachtern bemerkte Thatsache bestätigt wird<sup>30)</sup>, und dass die in die Luft mit grösserer Geschwindigkeit eintretenden Sternschnuppen sich schneller und in grösseren Höhen verzehren und mit geringerer Leichtigkeit zur Erde gelangen können. Endlich können wir bemerken, dass der von uns betrachtete Umstand des verticalen Niederfallens derjenige ist, welcher das Meteor am schnellsten dem Erdboden nähert. Bei dem schiefen Falle werden die eben angegebenen Phänomene in atmosphärischen Schichten von noch grösserer Dünne sich ereignen. So findet man z. B., dass ein den oben betrachteten ähnliches Meteor, welches in einer 10° gegen die Ebene des Horizontes geneigten Richtung niederfällt, seine Geschwindigkeit von 72000 auf 8000 Meter reducirt haben wird, noch ehe es die Schicht erreicht hat, wo das Barometer 0 262 mm. zeigt. In diesen Fällen ist die von uns entwickelte Theorie noch viel genauer, weil die Wirkung der Schwerkraft fast senkrecht zur Bahn ist und deshalb die Geschwindigkeit des bewegten Körpers nur sehr unbedeutend beschleunigen kann.

Alle diese Schlussfolgerungen verlieren aber an ihrem vollen Werthe, sobald die Masse und das Volumen des meteorischen Körpers eine gewisse Grenze übersteigen. So z. B. kann man sich leicht überzeugen, dass ein sphärischer Aerolith von spec. Gewicht 3,5 und von 1,50 m. Durchmesser bei dem verticalen Falle auch mit einer Geschwindigkeit von ungefähr 500 Meter zum Erdboden gelangen würde, wenn nur die Anfangsgeschwindigkeit grösser ist als 16000 Meter. Eine

---

<sup>30)</sup> Man muss hiervon die sogenannten eigentlichen Bolide ausnehmen, welche am Ende ihrer Bahn zerplatzen und im Allgemeinen tiefer, als die gewöhnlichen Sternschnuppen herabsteigen.



sphärische Meteoreisenmasse, welche unter denselben Umständen niederfällt, würde auf den Erdboden mit derselben Geschwindigkeit von ungefähr 500 Meter gelangen, wenn ihr Durchmesser 0,67 m. wäre. Grössere Eisenmassen dürften bei ihrem Erreichen des Erdbodens eine noch grössere Geschwindigkeit beibehalten, auch wenn man die von der Schwere verursachte Acceleration nicht in Rechnung zieht, welche in diesen Fällen nicht sehr wahrnehmbar sein kann wegen der Schnelligkeit, mit welcher die Masse die Atmosphäre durch-eilt. —

21. Damit man beurtheilen kann, in wie weit die aus den beiden letzten §§. gezogenen Schlussfolgerungen von der über das Gesetz des Widerstandes aufgestellten Hypothese abhängen, haben wir dieselbe Rechnung bei Annahme des Gesetzes des Widerstandes von Didion durchgeführt, welches Graf S. Robert<sup>31)</sup>, gestützt auf ballistische Experimente, aufgestellt hat<sup>31)</sup>. Dieses andere Gesetz lässt, auf planetarische Geschwindigkeiten angewendet, den Widerstand nach einem viel schnelleren Verhältniss wachsen, als das Gesetz von Didion; es dürfte aus einigen Gründen unserm Falle mehr sich anpassend erscheinen. Indem wir den Leser für die Einzelheiten der Rechnung auf die Erste Note im Anhang verweisen, geben wir in folgender Tabelle kurz die Resultate, welche wir aus ihnen für die Bewegung der schon betrachteten beiden sphärischen Projectile von 4 Centimeter Durchmesser und von 3,5 Dichtigkeit hergeleitet haben, von denen das eine mit einer kosmischen Geschwindigkeit von 72000 Meter, das andere mit einer Geschwindigkeit von 16000 Meter in der Secunde in verticaler Richtung in die Atmosphäre eindringt.

---

<sup>31)</sup> S. Robert, Del moto dei Proiettili nei mezzi resistenti. Torino 1855. 4<sup>o</sup>. p. 80—81. (Memorie dell' Accademia della scienze di Torino, serie II, tomo XVI). Nimmt man dieselben Bezeichnungen an, wie bei der Didion'schen Formel (s. Anm. 28), so ist die Formel von S. Robert:

$$R = 0.03874 \pi r^2 u^2 \left\{ 1 + \left( \frac{u}{696} \right)^2 \right\}.$$

Dieser Ausdruck und der von Didion fallen bei den gewöhnlichen Geschwindigkeiten der Kanonenkugeln sehr nahe zusammen; für planetarische Geschwindigkeiten aber giebt die Robert'sche Formel einen viel grösseren Werth als die von Didion. Ist z. B.  $u = 72000$  Meter, so ist der Widerstand nach S. Robert 87mal grösser, als nach Didion: und ist  $u = 16000$  Meter, so ist nach S. Robert der Widerstand noch 19mal grösser als nach Didion. Es ist wohl kaum nöthig, zu erinnern, dass diese Unterschiede nicht den Fehlern der Formel beigemessen werden dürfen, welche von ihren Urhebern den bei der Artillerie angewandten Geschwindigkeiten, und keinen anderen, angepasst worden sind.



In dieser Tabelle ist neben den übrigbleibenden Geschwindigkeiten der Atmosphärendruck derjenigen Schicht gegeben, in welcher sich der Meteorkörper befindet, sobald er die betreffende Geschwindigkeit erlangt hat.

| <b>Tabelle I.</b><br>Anfangsgeschwindigkeit = 72000 m. |                          | <b>Tabelle II.</b><br>Anfangsgeschwindigkeit = 16000 m. |                          |
|--------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------|
| Uebrigbleibende<br>Geschwindigkeit.                    | Entsprechender<br>Druck. | Uebrigbleibende<br>Geschwindigkeit.                     | Entsprechender<br>Druck. |
| m.                                                     | mm.                      | m.                                                      | mm.                      |
| 72000                                                  | 0,0000                   | 16000                                                   | 0,0000                   |
| 60000                                                  | 0,0005                   | 14000                                                   | 0,0064                   |
| 48000                                                  | 0,0013                   | 12000                                                   | 0,0162                   |
| 36000                                                  | 0,0031                   | 10000                                                   | 0,0322                   |
| 24000                                                  | 0,0082                   | 8000                                                    | 0,0620                   |
| 12000                                                  | 0,0358                   | 6000                                                    | 0,1280                   |
| 8000                                                   | 0,0816                   | 4000                                                    | 0,3055                   |
| 4000                                                   | 0,3151                   | 2000                                                    | 1,2293                   |
| 2000                                                   | 1,2489                   | 1000                                                    | 4,2986                   |
| 1000                                                   | 4,3182                   | 500                                                     | 11,6192                  |
| 500                                                    | 11,6388                  |                                                         |                          |

Wie es zu erwarten war, so zeigt der Luftwiderstand seine Einwirkung nach dieser Tabelle noch schneller als nach der Hypothese von Didion: aber die Schlussfolgerungen, welche wir aus ihr ziehen können, sind nicht sehr verschieden. Auch hier ist der grösste Theil der kosmischen Geschwindigkeit schon in den dünneren Schichten vernichtet und nur dann, wenn die Meteorkörper von sehr grossen Dimensionen sind, erhält sich ein irgendwie bemerkenswerther Theil dieser kosmischen Geschwindigkeit. Hieraus kann man leicht ableiten, dass der Durchmesser eines sphärischen Aerolithen von 3,5 spec. Gewicht 2,61 m. betragen muss, damit er bei dem verticalen Niederfallen den Boden mit einer übrigbleibenden Geschwindigkeit von 500 Meter erreicht, während eine Kugel von Meteoreisen vom spec. Gewicht 7,8 unter denselben Umständen einen Durchmesser von 1,17 m. haben müsste, wenn man die Acceleration der Schwere dabei nicht in Rechnung zieht. —

Die Uebereinstimmung der aus der Betrachtung der so verschiedenen Gesetze des Widerstandes hergeleiteten Schlussfolgerungen rechtfertigt die Hoffnung, dass diese letzteren einigermassen von der Beschaffenheit der über die Form der Gesetze gemachten Hypothesen unabhängig sind und dass sie auch wahr bleiben für das unbekannte Gesetz, welches in Wahrheit in der Natur stattfindet. —



22. Die von dem Widerstande der Luft entwickelte Wärme. Wir können diese Untersuchung der Bewegung der Meteore in der Atmosphäre nicht verlassen, ohne vorher einige Betrachtungen über die Wärmeentwicklung angestellt zu haben, welche man bei der heftigen Gewalt, mit der die Meteore durch unsere Atmosphäre hindurchdringen, wohl vermuthen darf. Man hat versucht, die Wärme, auf welche die meteorische Masse gebracht werden kann, durch einfache Umwandlung der von ihr verlorenen lebendigen Kraft in Wärmeeinheiten mittelst des bekannten Lehrsatzes des Aequivalentes der Wärme und der mechanischen Arbeit abzuschätzen. Hiernach findet man, dass die Temperatur der Meteore leicht auf Millionen von Graden steigen kann, auch wenn man sehr mässige Annahmen über die Geschwindigkeit und die Wärmecapacität der Meteore macht<sup>32</sup>). Dieses Resultat setzt voraus: 1) dass die ganze aufgewendete lebendige Kraft sich in Wärme umwandelt; 2) dass die ganze so entwickelte Wärme zur Erhitzung des meteorischen Körpers verwendet wird. Die eine oder die andere dieser Annahmen sind aber gegen die Wahrheit. —

Wenn wir in der That (soweit es bei diesen so weit über die Grenze unserer Experimente liegenden Erscheinungen möglich ist) die verschiedenen Umstände, welche die so schnelle Bewegung dieser Körper durch die Atmosphäre begleiten, zu analysiren suchen, so werden wir ungefähr die folgende Reihe der Erscheinungen auffinden. Der Meteorkörper wird bei seinem weiteren Vordringen die vor ihm befindliche Luft zusammendrücken; sobald seine Geschwindigkeit viel grösser ist als diejenige, mit welcher sich die atmosphärischen Condensations-Wellen fortpflanzen, wird diese Zusammendrückung nicht Zeit haben, sich der umgebenden Luft mitzutheilen, wie es die Schallwellen thun, sondern zu der vorhergehenden Zusammendrückung wird sich die folgende hinzufügen; hierdurch wird sich an der vorderen Seite des meteorischen Projectiles eine Schicht von comprimierter Luft bilden, welche hundert- und vielleicht auch tausendmal dichter ist als die gewöhnliche Luft, und in welcher sich eine sehr hohe Temperatur entwickeln wird. Diese Schicht wird ferner

---

<sup>32</sup>) Nehmen wir einen meteorischen Körper, dessen specifische Wärme 0,2 ist, also wenig verschieden von der der Kiesel-, Talk- und Thonerde, so findet man, dass die von ihm verlorene lebendige Kraft, wenn er von 72000 Meter Geschwindigkeit (in der Secunde) auf 500 Meter reducirt wird, fähig ist, den Körper auf 31 Million Grade (des hunderttheiligen Thermometers) zu erwärmen. Sobald die Anfangsgeschwindigkeit nur 16000 Meter beträgt, würde die Erhitzung doch noch 1½ Million Grade betragen.



keine bleibende sein, sondern an den Seiten des Projectiles entweichen und mit sich eine Wärmemenge fortführen, welche durch die Ausdehnung der Luft sich wieder verliert: oder, um genauer zu sein, diese Luft wird durch ihre Ausdehnung die augenblicklich entwickelte Wärme in atmosphärische Schwingungen und deshalb von Neuem in lebendige Kraft umwandeln. Diese Schwingungen künden sich bei den Kanonenkugeln durch ihr Pfeifen und bei den Meteoren durch Töne von gewaltigerer Natur an. Es ist immerhin bemerkenswerth, dass das seitliche Entweichen der comprimirten Luft nicht unverzüglich stattfindet, sondern eine gewisse Zeit erfordert. Deshalb wird der feste Körper einen bestimmten Theil seiner Bewegungsgrösse dazu verbrauchen, um mit sich die an seiner vorderen Seite adhärenden Luftmassen eine gewisse Strecke mit fortzutragen; diese werden bei ihrem späteren Entweichen einen Theil der empfangenen Impulsionsgeschwindigkeit beibehalten. Bei diesem Vorgange wird die Schicht der comprimirten Luft der vorderen Fläche des Meteorkörpers einen Theil ihrer hohen Temperatur mittheilen: diese Wirkung wird sich aber völlig auf die Oberfläche beschränken. Endlich wird der Aërolith ebenfalls zusammengedrückt, indem er die Luft mit grosser Gewalt comprimirt; daraus folgt eine innere Erhitzung seiner ganzen Masse. Wenn er seinen festen Zustand behält, so wird diese innere Erwärmung aufhören, wenn die Compression aufhört. —

23. Von allen Wirkungen scheint allein die schnelle Erwärmung der Luft, auf welche die vordere Seite des Meteores drückt, leicht berechnet werden zu können; dieser Erhitzung pflegt man die Schmelzung der Oberfläche der Meteormassen zuzuschreiben. Ist die vordere Seite eben oder hemisphärisch, so kann man diese Rechnung leicht ausführen, wenn man die Poisson'sche Formel anwendet, welche dieser gegeben hat, um die Grösse der Wärme zu finden, um welche sich die Temperatur eines, einer plötzlichen Druckvergrösserung unterworfenen, Gases erhöht<sup>33)</sup>. Für diese Rechnung vergleiche man die zweite Note am Ende des Buches.

Das Endresultat ist, bei Annahme genügend plausibler Voraussetzungen über die verschiedenen zweifelhaften Elemente dieses Problems, dass die Temperatur an der Oberfläche des Aërolithen einige Tausend Grade erreichen kann und deshalb für eine Schmelzung der Oberfläche völlig hinreicht. Diese Temperatur ist in den ersten Augenblicken, wenn das Meteor in die Atmosphäre eindringt, am grössten und nimmt alsdann

<sup>33)</sup> Annales de physique et de chimie, 1823.



allmählich ab, und zwar für die Körper von kleineren Dimensionen schneller, als für die grösseren. Zu bemerken ist hierbei noch, dass, unter sonst gleichen Umständen, die an der Oberfläche eines Meteorkörpers gleich nach dem Eintritte in die Atmosphäre erzeugte Wärme (wenn sie also am grössten ist) die alleinige Function der Geschwindigkeit des Meteores bei seinem Eintritte in die Atmosphäre ist und weder von dem Durchmesser, noch von der Dichtigkeit, noch von der Richtung der Bahnlinie abhängt. Dies scheint mir auch in genügender Weise mit der grossen Gleichförmigkeit übereinzustimmen, mit welcher die Schmelzungsrinde unterschiedslos auf den Meteoriten von allen Dimensionen hervorgebracht wird, sowohl auf den Massen von mehreren hundert Kilogrammen, als auch auf denen, welche nur einen kleinen Bruchtheil eines Grammes wiegen<sup>34)</sup>.

24. Die durch die Compression der Luft an der Oberfläche des Meteorkörpers erzeugte Wärme kann, während der kurzen Dauer des Fallens, nicht viel tiefer, als die Rinde dick ist, eindringen: dies scheint durch die sehr mässige Temperatur der auf die Erde gelangenden Meteoriten genugsam erwiesen. Woher kommt es aber, dass die meisten Meteore sich in der Atmosphäre auflösen?

Um diese schwierige Frage zu beantworten, sind verschiedene Ansichten aufgestellt worden. Wir haben schon früher die Hypothese der gas- oder nebelartigen Beschaffenheit der Sternschnuppen erwähnt und die Gründe angegeben, weshalb man sie nicht annehmen kann. Wir haben ferner die electriche Hypothese von Poisson angeführt. Es scheint zwar nicht gerade unmöglich, aber doch sehr schwer zu beweisen, dass die kosmischen Körperchen mit der Erdatmosphäre in einem Zustande von ungeheurer electricer Spannung in Berührung kommen und so auf ihrer Rinde die Wirkungen eines Blitzschlages hervorbringen können. —

Eine andere mögliche Erklärung kann man aus der chemischen Natur dieser Körperchen herleiten, welche möglicherweise noch viel leichter als Natrium oder Kalium sich mit Sauerstoff verbinden und deshalb auch bei der ersten Berührung mit der Luft eine heftige Verbrennung erleiden könnten. Auch ohne diese besondere Art der Affinität anzunehmen, ist es eine Thatsache, dass die hohe durch die Compression der Luft entwickelte Temperatur vorzugsweise geeignet ist, um chemische Verbindungen irgend welcher Art

---

<sup>34)</sup> Bis jetzt hat man nur zwei zuverlässige Beispiele von Aerolithen ohne Rinde, nämlich den von Chantonnay, gefallen am 5. August 1812, und den Meteoriten von Sétif, gefallen am 9. Juni 1867.



zu begünstigen. Man kann diese an sich nicht unwahrscheinlichen, aber doch immer willkürlichen Annahmen vermeiden, wenn man die Ursache dieser Erscheinung in der grossen Wärmemenge sucht, welche durch die während der Bewegung der Meteore zerstörte lebendige Kraft erzeugt werden kann. Dieser rein mechanischen Hypothese kann man verschiedene Formen geben. Man könnte zunächst annehmen, dass die gewöhnlichen Sternschnuppen aus sehr kleinen Körperchen bestehen; diese können durch denselben Process an der Oberfläche, welcher bei den grösseren die Schmelzungsrinde verursacht, leicht verflüchtigt werden. Man müsste alsdann nachweisen (und dies scheint schwierig zu sein), dass solche sehr kleinen Massen, auf die Temperatur von einigen Tausend Graden gebracht, hinreichendes Licht erzeugen können, um sie auf so grosse Entfernungen hin sichtbar zu machen. Dieser Hypothese analog ist die eines pulverförmigen Zustandes, welche A. S. Herschel aufgestellt hat. Immer aber stellt sich dieser Annahme die Schwierigkeit der gekrümmten und wellenförmigen Bahnen entgegen, welche nothwendig eine einzige und compacte Masse voraussetzen. —

Man hat ferner angenommen, dass der Process, durch welchen sich die Rinde bildet, fähig sei, die ganze innere meteorische Masse durch successive Zernagung der Oberfläche nach und nach zu verflüchtigen, sobald er nur eine hinreichend lange Zeit andauert. Diese von mir in der ersten Ausgabe dieser Schrift entwickelte Hypothese wird durch den scharfkantigen und fragmentarischen Habitus fast aller Meteorite vollständig widerlegt, welcher zur Evidenz beweist, dass der Schmelzprocess an der Oberfläche der Meteoriten sich keinesfalls über eine Schicht von sehr kleiner Dicke hinaus erstreckt.

Um dieser mechanischen Hypothese der Auflösung der Meteore eine annehmbarere Gestalt zu geben, könnte man die schnelle Bewegung der Meteore durch die Atmosphäre einem Stosse, oder richtiger einer Reihe von Stössen vergleichen. Dieser Vergleich ist auf Analogien gestützt, die genauer sind, als es beim ersten Blicke erscheint. Wenn man mit dem Hammer auf den Amboss schlägt, so hört die Bewegung des Hammers nicht bei der ersten Berührung auf, sondern setzt sich fort, indem sie einen grossen Widerstand überwindet, so lange die Elasticität des Amboss sie nicht zerstört hat: zu gleicher Zeit wird Wärme entwickelt. Die Funken, welche die mit Eisen beschlagenen Hufe der Pferde aus den Steinen schlagen, zeigen, dass diese Wärme sich bis zum Glühen steigern kann. Die in diesen Fällen erzeugte Wärme erstreckt sich nicht bloss auf die Oberfläche, sondern durchdringt die



ganze Masse, auf welche sich die Wirkungen des Stosses direct ausdehnen. Können wir nun nicht glauben, dass ähnliche, und noch viel mächtigere Wirkungen bei einem meteorischen Projectil stattfinden, welches durch den Widerstand der Atmosphäre in einem sehr kleinen Bruchtheile einer Secunde, 10-, 24-, ja 50,000 Meter Geschwindigkeit verlieren kann? Wenn die von dem Stosse erzeugte Temperatur höher ist, als die Schmelztemperatur, so wird die ganze Masse, so gross oder so klein sie sein mag, gleichzeitig sich auflösen. Unter solchen Annahmen werden nur diejenigen Meteormassen die Erde erreichen können, bei welchen sich die Geschwindigkeit nur sehr langsam vermindert. Dies kann stattfinden: 1) bei grösseren Massen, bei welchen die kosmische Geschwindigkeit nur allmählich verschwindet (s. §§. 20 und 21); 2) bei denjenigen kleineren Massen, welche die grösseren begleiten und während ihres Herabfallens den hinter den grösseren Massen erzeugten leeren Raum einnehmen; 3) bei den Massen von beliebiger Grösse, welche in die Atmosphäre in fast horizontaler Richtung eindringen; das Meteor wird alsdann nur nach und nach aufgehalten und kann eine sehr lange Bahn durchlaufen. Der erste Fall entspricht dem Niederfallen grosser isolirter Massen, der zweite dem von grossen Massen, begleitet von anderen kleineren und von Staub. Im dritten Falle entstehen die grossen Bolide, welche sehr weite Strecken durchziehen und fast immer eine zum Horizonte sehr wenig geneigte Bahn haben.

Von allen diesen hier erwähnten Annahmen scheint mir die letztere die wahrscheinlichste zu sein. Man kann aber auch zugeben, dass nicht alle Sternschnuppen sich in der Luft auf dieselbe Weise und durch dieselbe Ursache auflösen. Ihr äusserer Anblick ist so verschieden, dass man nothwendig eine grosse Verschiedenheit in ihrer Zusammensetzung annehmen muss, sowie in den Erscheinungen, welche während ihrer Bewegung durch die Atmosphäre stattfinden. Sehr interessant sind in dieser Beziehung die Untersuchungen von J. J. Schmidt über die Farbe, Grösse und Schweife der Sternschnuppen in seinen „Resultate aus zehnjährigen Beobachtungen über Sternschnuppen“. Auch die Betrachtung der Erscheinungen einiger besonderer Meteore kann von grosser Wichtigkeit sein. —

Ueber die complicirten und zum Theil noch geheimnissvollen Erscheinungen, welche in dem atmosphärischen Theile der Meteorbahnen stattfinden, kann man auch aus den Beobachtungen derjenigen Bolide grossen Aufschluss erhalten, welche zu dem Niederfallen von Meteoriten Veranlassung geben: aus ihnen erklären sich viele Einzelheiten, die bei den kleineren Meteoren fehlen



oder nicht bemerkt werden. Diese Einzelheiten sind der Gegenstand der Untersuchungen mehrerer Forscher gewesen, besonders des Herrn Hofrath Haidinger, auf dessen in den Sitzungsberichten der Wiener Academie zerstreute Abhandlungen ich den Leser verweise, da ich über diesen wichtigen Gegenstand nichts Neues hinzufügen kann<sup>35)</sup>.

---

---

<sup>35)</sup> Siehe besonders Licht, Wärme und Schall bei Meteoritenfällen. Wiener Sitzungsberichte, 1868, LVIII. Bd. Wichtig ist noch die Abhandlung von Prof. Galle: Ueber die Bahn des am 30. Januar 1868 beobachteten und bei Pultusk in Polen als Steinregen niedergefallenen Meteors. Breslau 1868.



## Capitel II.

### Allgemeine Merkmale der Bewegung der Sternschnuppen im Raume.

25. Die scheinbare Bewegung der Sternschnuppen in dem sichtbaren Theile ihrer Bahn ist im Allgemeinen so schnell, dass ihr ganzes Erscheinen augenblicklich genannt werden kann: deshalb haben schon die arabischen Astronomen sie nicht mit Unrecht für geeignet gehalten, als Signale zur Bestimmung der Längendifferenzen zu dienen<sup>36)</sup>. Diese Schnelligkeit gestattet nicht, sie mit derselben Genauigkeit als die anderen Himmelskörper zu beobachten: ihre Richtung kann kaum innerhalb der Grenzen eines oder auch mehrerer Grade bestimmt werden, während die Geschwindigkeit nur mehr oder weniger willkürlich abgeschätzt werden kann. Zu diesen Schwierigkeiten gesellen sich noch andere, welche von den die Bewegung störenden Ursachen abhängen: unter diesen steht der Widerstand der Atmosphäre in erster Linie. —

---

<sup>36)</sup> Si magnae alicuius stellae discursus, ejusque momentum notetur in duobus locis ab invicem remotis eo modo quo diximus major comperiretur horarum numerus in orientali loco, quam in occidentali. Atque haec temporum differentia in toto orbe orientem versus et occidentem exacte respondet locorum intervallis.“ **Alfragani** Elementa Astronomiae ed. Golii p. 11. 12. Amstelodami 1669. Diese Methode wurde bekanntlich von Halley 1719 und von Lynn 1727 wieder aufgenommen (Phil. Transact No. 360 und 400), später von Maskelyne 1783 und von Benzenberg 1802 (Ueber die Bestimmung der geographischen Längen durch Sternschnuppen, Hamburg 1802): aber erst 1823 wurde sie von Brandes für die Längendifferenz zwischen Breslau und Gleiwitz praktisch ausgeführt.



Die natürlichste Methode für das Studium der Bewegung der Sternschnuppen scheint die Bestimmung der Lage ihrer Bahnen im Raume vermittelt correspondirender Beobachtungen zu sein: diese für einige Bolide von Halley, Montanari und von Anderen bereits angewendete Methode wurde für die eigentlich sogenannten Sternschnuppen erst 1798 praktisch ausgeführt; in diesem Jahre haben Brandes und Benzenberg ihre Versuche hierüber angestellt. Die häufige und allgemeine Anwendung dieses Verfahrens stiess aber auf sehr bedeutende praktische Schwierigkeiten, und mehr als irgend ein Anderer hat Brandes sie wissen können. Ich glaube nicht zu übertreiben, wenn ich sage, dass die Zahl der aus correspondirenden Beobachtungen mit irgend welcher Genauigkeit abgeleiteten Meteorbahnen kaum 3- bis 400 übersteigt. Wenn auch daher solche Beobachtungen für die Untersuchung einiger specieller Fragen in Betreff der Bahn der Meteore in der Atmosphäre und der ihr Herabfallen begleitenden Erscheinungen sehr nützlich sein können, so werden sie doch, wegen der engen Grenzen ihrer Anwendung, der astronomischen Theorie keinen entscheidenden Nutzen gewähren. Man kann wohl behaupten, dass wir alle, über die Natur der Bahn der Meteore im Raume, über die von ihnen gebildeten Systeme und über ihren möglichen Ursprung bis jetzt erlangten Kenntnisse gänzlich einer, grosse Beobachtungsmengen zusammenfassenden, Untersuchung verdanken; aus diesem reichen Beobachtungsmaterial wurden aber bisher keine anderen Elemente zur Untersuchung gezogen, als die Häufigkeit ihrer Erscheinungen und die Vertheilung ihrer scheinbaren Bahnen, wie sie sich einem einzigen Beobachter darstellen. —

26. Der erste Umstand, welcher bei der zusammenfassenden Betrachtung dieser Phaenome ne bemerkt wurde, ist die aussergewöhnliche Häufigkeit der Erscheinungen, welche man von Zeit zu Zeit bei den Meteorphaenomenen wahrnehmen kann. Unter gewöhnlichen Umständen kann ein einzelner Beobachter selten mehr als 15 oder 20 Meteore in jeder Stunde zählen. Zuweilen aber ereignen sich die sogenannten Sternschnuppenregen, welche zuweilen so grossartig sind, dass sie auch die Aufmerksamkeit des Volkes erwecken. Ein bemerkenswerthes Beispiel hierfür haben wir in der neueren Zeit in der Nacht vom 13. zum 14. November 1866 gehabt, wo gewisse Beobachter die Sternschnuppen in einer Stunde nur nach Tausenden zählen konnten. Grossartige Phaenome ne dieser Art findet man in Chroniken des Alterthums und des Mittelalters erwähnt. Die chinesischen Annalen erwähnen solche Meteorschauer, die bis zum siebenten Jahrhundert vor Christus hinaufreichen, während in den ältesten Gedichten



Indiens ebenfalls auf solche Erscheinungen angespielt wird <sup>37)</sup>. Diese Berichte über alte Sternschnuppenschauer haben wesentlich dazu beigetragen, gewisse Hauptthatsachen der meteorischen Wissenschaft festzustellen; deshalb haben sich auch einige Schriftsteller mit Zusammenstellung von Sternschnuppen-Katalogen beschäftigt. Die chinesischen Annalen von Matuanlin und die Chroniken der Sung-Dynastie wurden zu diesem Zwecke von Eduard Biot studirt, während Chladni, Hoff, Kaemtz, Chasles, Fraehn, Perrey, Herrick, Quetelet und Boguslawski (Sohn) hauptsächlich die Nachrichten und Zeugnisse der arabischen Schriftsteller und der Historiker des Abendlandes zusammenstellten <sup>38)</sup>. Nimmt man an, dass die Sternschnuppen kosmische Körper sind, so lernen wir aus der Betrachtung der grossen Sternschnuppenschauer einen Umstand kennen, nämlich den, dass diese Körperchen nicht alle planlos im Raume zerstreut sind, sondern dass sie sich hie und da in dichterem Anhäufungen vereint finden, welche zuweilen der Erde begegnen, während diese ihre jährliche Bahn beschreibt. —

27. Indem man die Epochen, zu welchen sich die berühmtesten Meteorschauer zeigten, mit einander verglich, gelangte man zu einem anderen wichtigen Merkmale, nämlich zu ihrer Periodicität: diese ist doppelter Art. Man fand zunächst, dass gewisse Meteorschauer mit grösserer oder geringerer Intensität an demselben Tage oder an nur wenig verschiedenen Tagen des bürgerlichen Kalenders wiederkehrten. Diese Thatsache wurde zuerst bei Gelegenheit der Wiederholung des Novemberphaenomens 1832, 1833

---

<sup>37)</sup> „Alsdann zeigten sich Wundererscheinungen von trauriger Vorbedeutung für die Götter und der Blitz des Indra entflammte sich zum Entsetzen von selbst. Man sah vom Firmamente die Himmelsfackeln fallen, wie vom Rauch umhüllte Flammen: und von allen Seiten stürzten sich die Waffen der Vasu, der Rudra, der Aditya, der Sâdhya, der Maruta und aller Anderer, welche das Heer der Götter bilden, um die Wette auf- und gegeneinander. Man sah Erscheinungen, wie man sie selbst bei dem Kriege zwischen den Göttern und Dämonen nicht wahrgenommen hatte: die Winde wehten in Begleitung von Stürmen und die Sterne fielen zu Tausenden vom Himmel herab. Der Donner krachte mit Geprassel in einer reinen heiteren Atmosphäre und der König der Götter liess Blut regnen statt Wasser. Die Blumenkränze der Unsterblichen verwelkten, ihr Glanz erlosch und Wolken von finsterner Vorbedeutung ergossen Ströme von Blut.“ Mahabharata Lib. I. v. 1416—1421.

<sup>38)</sup> Die vollständigsten Kataloge dieser Art, welche auch in sich den Inhalt der andern Kataloge vereinen, sind: der von Quetelet, 1861 publicirt in seiner *Physique du globe*, der von Chladni (in „Die Feuermeteore etc.“ 1819), successive fortgesetzt und mit einigen Supplementen vermehrt von Hoff, Kaemtz, G. von Boguslawski in vielen Bänden der *Annalen von Gilbert und Poggendorff*.



und in den folgenden Jahren an das Licht gezogen. Man bemerkte alsdann, dass das Datum des 13. November, an welchem diese Erscheinung in den Jahren 1832 und 1833 sich zeigte, fast genau mit dem der von Humboldt in Cumana am 12. November 1799 beobachteten zusammenfiel. Dies veranlasste die Beobachter, zu untersuchen, ob 1834 oder in den folgenden Jahren der 13. November oder ein diesem benachbarter Tag durch irgend eine ähnliche Erscheinung ausgezeichnet sei. Dies wurde, wenn auch nur zum Theil, nachgewiesen; man erblickte an diesem Tage in den 5 oder 6 Jahren nach 1834 eine grössere Zahl von Sternschnuppen, als gewöhnlich; aber seit 1840 schien das Phaenomen erloschen zu sein, wenigstens hinsichtlich der aussergewöhnlichen Häufigkeit der Sternschnuppen: es fing erst 1865 wieder an stärker zu werden.

Eine analoge, aber mehr andauernde Periodicität wurde von Quetelet bei anderen Meteorschauern bemerkt. Im Jahre 1836 zeigte er an, dass der Tag des 10. August nach den Verzeichnissen alter Beobachtungen durch eine Steigerung der Intensität des Sternschnuppen-Phaenomens ausgezeichnet sein müsse. Dies wurde auch durch die zahlreichen Beobachtungen von 1837 bis gegenwärtig als unzweifelhaft bestätigt. — Die Erscheinungen des August haben in diesem Zeitraume kein ähnlich grosses Schauspiel gezeigt, wie es die grossen November-Erscheinungen von 1799, 1833 und 1866 dargeboten haben: aber als Ersatz dafür wiederholte sich ihre Wiederkehr alle Jahre mit grosser Beständigkeit, wenn auch nicht ohne merkliche Fluctuationen.

Ausser diesen sind noch andere Epochen des Jahres von Quetelet und Anderen als besonders reich an Meteoren bezeichnet worden, wie der 2.—3. Januar, der 20. April, der 18.—20. October, der Anfang December u. s. w. Für alle diese Phaenomene ist die Wiederkehr an eine jährliche Periode gebunden und entspricht im Allgemeinen einer bestimmten Position der Erde in ihrer Bahn. In einigen Fällen zeigte sich eine langsame Verspätung des Datum, welche weder durch Unregelmässigkeiten des Kalenders, noch vermittelst der Praecession erklärt werden konnte. So ist das Datum des November-Phaenomens in 100 Jahren um ungefähr 3 Tage weiter fortgerückt; nur die eine Hälfte dieser Aenderung kann man der nicht genauen Uebereinstimmung unseres Kalenders mit der siderischen Bewegung unserer Erde zuschreiben, die andere Hälfte rührt von einer wirklichen Fortbewegung desjenigen Punktes her, in welchem unsere Erde dem Sternschnuppenschauer in jedem Jahre begegnet. —

In einigen Fällen hat man nachgewiesen, dass die In-



tensität der jährlichen Wiederkünfte nicht constant ist, sondern innerhalb regelmässiger Perioden variirt: dies ist die andere Art von Periodicität, auf welche ich oben hingewiesen habe. So wagte Olbers, indem er den berühmten Meteorschauer, den man am 13. November 1833 in Amerika beobachtet hat, mit den von Humboldt und Bonpland am 12. November 1799 in Cumana gesehenen verglich und indem er dabei ein ähnliches Phaenomen berücksichtigte, welches nach Humboldt im Jahre 1766 in Amerika erschienen sein soll, die Wiederkehr dieses selben Phaenomens für 1867 zu vermuthen; diese Vermuthung hat sich, wie wir Alle wissen, in den letztverflossenen Jahren bestätigt; im Jahre 1866 hatte das November-Phaenomen sein Maximum der Intensität. Bei der Durchsicht der Kataloge von alten Sternschnuppenerscheinungen war Prof. Newton im Stande, andere Wiederkünfte des November-Phaenomens aufzufinden; und zwar für die Jahre 902, 931, 934, 1002, 1101, 1202, 1336, 1533, 1602, 1698; diese weisen mit grosser Sicherheit auf eine Periode von  $33\frac{1}{4}$  Jahr hin<sup>39)</sup>. Jeder dieser Epochen entspricht eine Reihe von glänzenden Erscheinungen, welche 4 oder 5 Jahre lang andauerten: in dem übrigen Theile der Periode erhielt sich das Phaenomen, aber in einem sehr schwachen Grade der Intensität. Nach einigen Anzeichen scheint ebenfalls das August-Phaenomen einer Periode von 100 bis 110 Jahren in seinen Intensitätsveränderungen unterworfen zu sein: aber in diesem Falle ist der Cyclus noch nicht mit derselben Sicherheit, als für die November-Sternschnuppen, festgestellt. —

Diese beiden Arten der Periodicität, nämlich die der jährlichen Wiederkehr und die der Intensität, mit welcher sich jede Wiederkehr darstellt, sind mit Recht zu den entscheidendsten Beweisen für die astronomische Natur des Sternschnuppenphaenomens gezählt worden. —

28. Aber eine nicht weniger bedeutsame und charakteristische Thatsache begleitet die Meteorschauer, nämlich die der Radiation, welche 1833 von einigen amerikanischen Beobachtern bei Gelegenheit des öfters erwähnten Novemberphaenomens entdeckt worden ist und deren Wichtigkeit Prof. Olmsted sofort erkennen liess. Diese Radiation besteht darin, dass bei den grossen Meteorschauern der grösste Theil der scheinbaren Bahnen von einem einzigen Punkte aus zu divergiren scheinen, oder noch richtiger von einem eng begrenzten Raume der Himmelskugel aus, von dem sie nach allen Richtungen hin ausstrahlen. Dieser Punkt oder dieser Raum, dem

<sup>39)</sup> Newton, on November star showers. Americ. Journal May—July 1864.



man aus diesem Grunde den Namen Radiant gegeben hat, folgt der Himmelskugel in ihrer täglichen Bewegung; dies beweist, dass der Ursprung der Sternschnuppen kosmisch und nicht tellurisch ist. Der Radiant hat keine Parallaxe, d. h. verschiedene Beobachter an verschiedenen Orten der Erde sehen in demselben Augenblicke die Ausstrahlung von demselben Punkte des Himmels ausgehen; dies widerlegt unmittelbar die Ansicht, dass es sich um Centra der meteorischen Thätigkeit handele, welche in unserer Atmosphäre, oder auch nur in geringer Entfernung von der Erde sich befinden. Endlich ist zu bemerken, dass für die sich zu bestimmten Epochen periodisch wiederholenden Erscheinungen der Radiant identisch ist und bei allen Wiederkünften unter den Sternen (wenigstens annähernd) dieselbe Position behält: auf diese Weise ist die Position des Radianten ein charakteristisches Element, welches dazu dient, die Wiederkünfte eines und desselben Meteor-schauers von denen anderer ähnlicher Schauer zu unterscheiden. So pflegt der Novemberschauer in unsern Zeiten von einem Punkte aus auszustrahlen, wo sich die Diagonalen des von den Sternen  $\varepsilon$ ,  $\gamma$ ,  $\zeta$  und  $\mu$  Leonis gebildeten Viereckes treffen, während die Augustmeteore grösstentheils von einem nicht weit von  $\eta$  Persei gelegenen Punkte ausgehen, wie man es seit 1837 bestätigt gefunden hat. Deshalb hat man den November-Meteoren den Namen Leoniden gegeben und die August-Meteore Perseiden genannt. Eine solche Stabilität der Radiationspunkte zeigt, dass die Meteore von periodischer Erscheinung bei allen ihren Wiederkünften der Erde unter identischen Bewegungszuständen begegnen. —

29. Das Sternschnuppenphaenomen dauert in seiner gewöhnlichen und täglichen Gestalt stetig fort, wenn auch bald mit grösserer, bald mit geringerer Intensität; es giebt keine Nacht im Jahre, in welcher ein aufmerksamer Beobachter mit guten Augen bei heiterem, mondfreiem Himmel nicht einige Sternschnuppen sehen könnte. Diese alltäglichen Meteore zeigen bei oberflächlicher und nicht specieller Betrachtung in ihrem Erscheinen keine Regelmässigkeit; sie scheinen über die ganze sichtbare Halbkugel zerstreut und ihre Richtungen planlos zu sein. Man glaubte daher längere Zeit hindurch, dass für diese Meteore die bei den periodischen Erscheinungen beobachteten Gesetze keine Geltung hätten; dies gab Anlass zu der Unterscheidung der systematischen und der sporadischen Sternschnuppen. Systematisch nannte man die Sternschnuppen von regelmässiger Wiederkehr, besonders die des August und November, auf welche sich seit langer Zeit die Aufmerksamkeit der Beobachter fast ausschliesslich gerichtet hatte; sporadisch nannte



man die Sternschnuppenerscheinungen jeder Nacht, bei welchen sich kein Gesetz angeben zu lassen schien, das ihre Wiederkehr oder Richtung regelte. Einige waren der Ansicht, dass diese beiden Klassen sich von einander nicht nur in Bezug auf die Epoche und die Art ihres Erscheinens, sondern auch in Bezug auf ihren Ursprung unterschieden. In neuerer Zeit ist erwiesen worden, dass ein solcher Unterschied in der That nicht existirt, oder doch wenigstens nicht so absolut, wie oben angegeben, angenommen werden kann. —

Prof. Heis in Münster hat zuerst alle Sternschnuppen auf besondere und bestimmte Systeme zurückzuführen versucht, indem er für jede Epoche des Jahres eine gewisse Anzahl von Radiationspunkten feststellte, von denen, wie man annehmen kann, die meisten der beobachteten Sternschnuppen ausgingen. Eine erste Reihe von Radiationspunkten gab Heis im Jahre 1849<sup>40)</sup>; aber ein regelmässiges Verzeichniss aller im Laufe eines Jahres zu beobachtenden Haupt-Radiationspunkte veröffentlichte er erst 1864 auf Grund von elfjährigen Beobachtungen.<sup>41)</sup> Dieses selbe Verzeichniss ist in den *Astronomischen Nachrichten* No. 1642, noch verbessert und erweitert, reproducirt; die Zahl der Radiationspunkte oder der jährlichen periodischen Schauer beträgt darin 84. Das Verzeichniss von Heis ist für den Zeitraum von je 15 Tagen angelegt, d. h. jeder Monat (ausgenommen Mai und Juni) ist in zwei Hälften getheilt und für jeden halben Monat sind die Radiationspunkte angegeben, von welchen die in der Zwischenzeit beobachteten Meteore herkommen; daher kommt es, dass, sobald ein Meteorschauer sich über solche Tage hin ausdehnt, welche zwei verschiedenen Zeiträumen von je 15 Tagen angehören, der Radiationspunkt sich wiederholt vorfindet, bisweilen mit kleinen Variationen in seinen Coordinaten. Bald darauf leitete Robert Philips Greg, welcher auf zweckmässig gezeichneten Karten die scheinbaren Bahnen von fast 2000 in den jährlichen Berichten des Meteor-Comité's der „British Association“ verzeichneten Meteoren construirt hat, aus diesen die Radiationspunkte von 56 deutlich bestimmten Radiationspunkten ab; diese entsprechen ebenso vielen Meteorschauern, denen er eine verschiedene Dauer beimisst, von wenigen Stunden bis zu einigen Wochen<sup>42)</sup>. Eine neuere Ausgabe dieses Verzeichnisses zeigt 77 Radianthen; zur Illustration derselben publicirte Greg zusammen mit A. S. Herschel

---

<sup>40)</sup> Heis: Die periodischen Sternschnuppen. Cöln 1849.

<sup>41)</sup> Monthly Notices of the Astron. Society, Vol. XXIV. p. 212.

<sup>42)</sup> Report of the British Association 1864 p. 98.



einen prachtvollen Atlas, in welchem alle die zur Abfassung des Katalogs verwendeten Bahnen verzeichnet sind, geordnet nach den respectiven Radiationen, denen sie angehören <sup>43)</sup>. Neuerdings hat J. Schmidt ein Verzeichniss von 150 Radian-ten veröffentlicht, welche fast alle den sechs letzten Monaten des Jahres angehören. Dieser Astronom hat mit besonderer Sorgfalt die Meteorphänomene des Juli und August untersucht <sup>44)</sup>. Als eine Ergänzung hierzu kann man ein Verzeichniss von 189 Radiationen betrachten, welche von mir aus circa 7000 von Zezioli beobachteten Bahnen abgeleitet sind <sup>45)</sup>. Endlich wurden 39 Radiationspunkte der südlichen Halbkugel von Heis aus den von Dr. Neumayer zu Melbourne in Australien angestellten Beobachtungen abgeleitet <sup>46)</sup>. —

Bei einer Prüfung und Vergleichung dieser Arbeiten erkennt man, dass der grössere Theil der Sternschnuppen zu Systemen vereint ist, welche von den Systemen der Perseiden und Leoniden nur durch die geringere Menge von Sternschnuppen und durch die geringere Sicherheit sich unterscheiden, mit welcher sie sich den Beobachtern als wirkliche Systeme zeigen. Man darf deshalb aber nicht glauben, dass die Anzahl und die Eigenthümlichkeit dieser Systeme jetzt schon genügend bekannt seien. Die kurz zuvor angeführten Arbeiten sind nur erste Entwürfe, welche aber alle zusammengefasst einen Theil der allgemeinen Züge des Phänomens und einige der hauptsächlichsten Umstände desselben darstellen können; sie müssen aber durch besondere Untersuchungen über jedes der Sternschnuppen-Systeme vervollständigt werden. A. S. Herschel und Prof. Ed. Weiss haben Beispiele für solche specielle Arbeiten gegeben.

30. Die genauere Untersuchung einiger Radiationspunkte hat kürzlich eine auf sie bezügliche Thatsache aufgedeckt, nämlich die, dass die Radian-ten nicht planlos über die verschiedenen Gegenden der Himmelskugel vertheilt sind. Man bemerkt bei ihnen ein Bestreben, sich gruppenweise in gewissen Gegenden des Himmels anzusammeln, immer jedoch der Art, dass die Epochen der derselben Gruppe angehörenden

<sup>43)</sup> Atlas of Charts of the Meteor Tracks [contained in the British Association Catalogue of Luminous Meteors: by R. P. Greg and A. S. Herschel, London 1868.

<sup>44)</sup> Astronomische Beobachtungen über die Meteorbahnen und ihre Ausgangspunkte. Athen 1869.

<sup>45)</sup> In den „Effemeridi astronomiche di Milano per l'anno 1870“ habe ich für die ersten sechs Monate des Jahres einige der Haupt-radiationspunkte veröffentlicht. (S. Cap. III.)

<sup>46)</sup> Heis und Neumayer: Ueber Meteore auf der südlichen Halbkugel. Mannheim 1867. Auszug aus dem III. Bande der Beobachtungen auf dem „Flagstaff Observatorium.“



Sternschnuppenschauer nicht viel von einander abweichen und sich meist über einige Wochen hin ausdehnen. Einige Radiationspunkte von Heis und viele von Greg sind vielleicht nichts anderes als Gruppen dieser Art, oder vielfache Radiationen. Der von diesen Gruppen am Himmel eingenommene Raum ist im Allgemeinen sehr beschränkt und scheint nicht mehr als 15, 20 oder 30 Grade eines grössten Kreises zu umfassen. Mit diesem gewöhnlichen Verhalten der meteorischen Radiationspunkte kann man die schon längst und oft beobachtete Thatsache in Zusammenhang bringen, dass bei gewissen grossen Sternschnuppenfesten einige benachbarte, gleichzeitige oder fast gleichzeitige Radiationen in aussergewöhnliche Thätigkeit treten. Das August-Phänomen scheint von dieser Art zu sein: so scheinen ferner auch die Sternschnuppenschauer vom 20. October, zu Anfang December und zu Ende Januar von mehreren benachbarten Radianten herzukommen, welche zusammen gleichzeitig ihre Wirksamkeit ausüben. Doppelte Radianten sind auch von Greg in seinem Kataloge aufgeführt. Eine solche Gleichzeitigkeit scheint keine Wirkung des Zufalles zu sein; es scheint vielmehr, dass diese in Ort und Zeit eng verbundenen Radianten einem gemeinsamen Systeme angehören. Es giebt indessen andere Sternschnuppenschauer, welche, so weit man bis jetzt weiss, isolirt oder jeder Beziehung zu anderen Radiationen beraubt erscheinen. Zu diesen scheint das Phänomen der Leoniden zu gehören. —

31. Man hat, um alle Einzelheiten eines Sternschnuppen-Phänomenes zu erklären, verschiedene Hypothesen über den Ursprung und über die Bahn der Sternschnuppen im Raume aufgestellt. Es kann nicht meine Absicht sein, hier eine vollständige Geschichte dieser Hypothesen von dem denkwürdigen Jahre 1833 an bis auf unsere Tage zu geben; diese Geschichte ist zum Theil schon von Anderen dargestellt worden <sup>47)</sup> und würde auch weit von unserem gegenwärtigen Zwecke abschweifen. Indessen möchte ich mir

<sup>47)</sup> Die „Introduction historique sur les étoiles filantes“, welche die Namen Coulvier-Gravier und Saigey trägt (die aber völlig von dem letzteren verfasst zu sein scheint) giebt eine nahezu vollständige Analyse aller über die Sternschnuppen gemachten Arbeiten von den ersten Untersuchungen von Chladni, Benzenberg und Brandes an bis 1845. Sie enthält eine werthvolle Menge von Notizen; aber die dort ausgesprochenen Urtheile sind selten unparteiisch und oft völlig falsch. Dieses Werk war in der That dazu bestimmt, die Prolegomena zu einer ausführlichen Publication der Meteorbeobachtungen von Coulvier-Gravier zu bilden, welche aber nicht erschienen ist. Man erkennt darin die fortgesetzte Tendenz die theoretischen Arbeiten, besonders die mit der kosmischen Theorie in Zusammenhang stehenden, und im Allgemeinen alle Ansichten und Beobachtungen gering zu schätzen, welche sich nicht gut mit den bekannten (jetzt gestorbenen und begrabenen) Ideen von Coulvier-Gravier vereinigen lassen.



erlauben daran zu erinnern, dass schon Anfangs die jährliche Periodicität der Sternschnuppenerscheinungen zu der Annahme von Anhäufungen sehr dünner Materie Anlass gab, welche in einer, von einem Jahre oder 6 Monaten sehr wenig abweichenden Periode um die Sonne in einer Bahn kreisten, welche die Erde in einem bestimmten Punkte ihrer jährlichen Bahn durchschneidet. Eine ähnliche sich auf die Erde stürzende Anhäufung hatte nach Olmsted die grosse Sternschnuppenfluth der Leoniden von 1833 erzeugt. Diese Hypothese erklärte bis zu einem gewissen Punkte die Erscheinung der Radiation. Man kann in der That sich vorstellen, als bezeichne der Radiationspunkt auf der Himmelskugel die Richtung, in welcher die kosmische Masse der Erde begegnet.

Seitdem aber für andere Sternschnuppenschauer die jährliche Periode constatirt wurde, und vornehmlich für die der Perseiden, hätte man, zufolge derselben Hypothese, die Existenz von ebenso vielen sich um die Sonne in jährlichen oder halbjährlichen Perioden drehenden Anhäufungen annehmen müssen. Die innerliche Unwahrscheinlichkeit dieser Combination wurde sehr schnell erkannt; auch wurde bald erwiesen, dass Anhäufungen von dünner Materie, wie man sie bei den Sternschnuppenschauern annahm, nicht auf lange Zeit vereint bleiben können und dass das Band der gegenseitigen Attractionen zwischen ihren einzelnen Theilen nicht hinreicht, um sie vor der auflösenden Einwirkung der von der Sonne und den Planeten herrührenden Störungen zu schützen. So wurden die Astronomen Schritt für Schritt zu der Annahme geführt, dass die meteorische Materie, anstatt in einer oder in einigen Anhäufungen vereint zu sein, sich über die ganze von den Meteoren durchlaufene Bahn ausbreite, der Art, dass sie einen continuirlichen Ring bilde. Wenn wir annehmen, dass die von den verschiedenen meteorischen Theilchen beschriebenen Bahnen nur wenig von einander abweichen, so werden in einem und demselben Theile ihrer Bahn die Bewegungen aller Theilchen nahezu parallel sein. Begegnet nun die Erde diesem Meteorringe, so wird sie ein Mal in jedem Jahre an demselben Tage einen Schauer von Sternschnuppen empfangen, welche in fast paralleler Richtung und mit sehr wenig verschiedener Geschwindigkeit auf sie herab fallen werden. Deshalb können auch die relativen Bewegungen dieser verschiedenen Theilchen in Bezug auf den Beobachter als parallel und gleich schnell betrachtet werden; die Bahnen werden in ihren sichtbaren Theilen als eine Gesammtheit von parallelen geraden Linien erscheinen, welche den Beobachtern nach den bekannten Gesetzen der Perspective von einem und demselben Punkte der Himmelskugel auszugehen scheinen. Dieser Punkt wird durch



eine Gesichtslinie bestimmt, welche von dem Auge des Beobachters aus parallel mit der gemeinsamen Richtung geht, nach welcher die Sternschnuppen in ihrer relativen Bahn niederfallen. Dies wird der Radiationspunkt des Meteorschauers sein. Auf diese Weise gelangt man dazu, die jährliche Periodicität durch die einfache Annahme, dass die Bahn der Erde in irgend einem Theile derselben den Meteorring durchschneidet, zu erklären, ohne dabei zu irgend einer unwahrscheinlichen Annahme über die Dauer der Umlaufszeit genöthigt zu sein. —

32. Diese Vorstellung von Meteorringen ist die Grundlage der von Prof. Erman in seiner berühmten Abhandlung vom Jahre 1839 entwickelten Theorie der kosmischen Meteore<sup>48)</sup>. In dieser Abhandlung zeigt er, dass man die Bahn der Sternschnuppen um die Sonne, wie die jedes andern beliebigen Himmelskörpers bestimmen könne, sobald man irgend ein Mittel besitzt, um die relative Geschwindigkeit zu bestimmen, mit welcher die Sternschnuppen der Erde begegnen. Indem er seine Formeln auf die Perseiden anwandte, fand er, dass die Neigung ihrer Bahn gegen die Ekliptik nicht kleiner sein könne, als  $56^{\circ}$ , dass ihre Bewegung sehr wahrscheinlich rückläufig sei und dass ihre Umlaufszeit nicht weniger betragen könne als 0,46273 Jahr. Diese Folgerungen wurden durch weitere Untersuchungen völlig bestätigt. Erman wagte aber nicht, die Elemente der Perseiden noch genauer zu bestimmen; die Fallgeschwindigkeiten der Sternschnuppen, wie sie aus den von einigen Beobachtern gemachten Schätzungen hervorgingen, schienen ihm für diesen Zweck noch nicht hinreichend genau bestimmt zu sein. Und, wenn sie auch noch so genau bestimmt worden wären, wie würde man sie in Bezug auf die Wirkung des Widerstandes der Atmosphäre haben corrigiren können? Die später von Anderen nach dieser Richtung hin angestellten Versuche führten zu keinem irgendwie glaubwürdigen Resultate. —

Angesichts dieses unüberwindlichen Hindernisses, vor welchem viele Jahre hindurch die Fortschritte der meteorischen Astronomie stehen blieben, blieb kein anderes Mittel übrig, als das gewöhnliche und regelmässige Verfahren der wissenschaftlichen Induction geradezu umzukehren. Anstatt von den Beobachtungen auszugehen, um darauf die Theorie zu gründen, nahm man seine Zuflucht zu Hypothesen; aus den hieraus auf dem Wege der Deduction gezogenen Consequenzen hat man die Uebereinstimmung mit den Beobachtungen herzuleiten gesucht. Es gelang, durch diese Methode zu finden, dass die

---

<sup>48)</sup> Astronomische Nachrichten. Nr. 385.



von den Sternschnuppen im Raume beschriebenen Bahnen, ihrer Beschaffenheit und Anordnung nach, den Kometenbahnen analog seien; dass ihre absolute Geschwindigkeit, sobald sie die Atmosphäre der Erde erreichen, im Allgemeinen sehr nahezu gleich ist der, der parabolischen Bewegung entsprechenden, Geschwindigkeit; dass gewisse Kometen gewissen Meteorschauern beigesellt sind, der Art, dass beide identische Bahnen beschreiben; endlich dass die Sternschnuppen sehr wahrscheinlich das Product der Zerstreuung der Kometenmaterie sind. Die Entdeckung dieser bemerkenswerthen Thatsachen hat in den wissenschaftlichen Kreisen ein grosses Interesse erregt und ist bereits in vielen Büchern und Zeitschriften, wenn auch nicht immer mit genügender Sachkenntniss und mit der nöthigen Unpartheilichkeit, dargelegt worden. —

33. Die Idee, dass zwischen den Kometen und Sternschnuppen irgend welche innere Beziehung stattfinde, ist nicht neu. Oefters hinterlassen einige Sternschnuppen am Himmel eine mehr oder weniger flüchtige Spur, welche diesen Körpern den Anblick von sehr schnellen Kometen giebt. Solche Schweife fehlen den grossen Boliden fast nie, welche in den alten Chroniken auch zuweilen als Kometen beschrieben oder mit ihnen verwechselt werden. Dies ist auch, wie ich glaube, der Standpunkt von Cardanus gewesen, als er das grosse Bolid, von welchem 1200 Steine auf das Gebiet von Crema am 4. September 1511 niederfielen, mit einem Kometen verglich<sup>49)</sup>. Ohne Zweifel wurde Kepler durch denselben Grund bewogen, einige Sternschnuppen als kleine Kometen zu betrachten: „*Stellae cadentes sunt materia viscida inflammata. Earum aliquae inter cadendum absumuntur, aliquae vere in Terram cadunt, pondere suo tractae. Nec est dissimile vero, quasdam conglobatas esse ex materia foeculenta, in ipsam auram aetheream immixta, exque aetheris regione tractu rectilineo per aërem trajicere, ceu minutos cometas, occulta causa motus utrorumque.*“<sup>50)</sup>. Diese Vergleichung der Sternschnuppen mit den Kometen hat aber nur eine oberflächliche Analogie der Erscheinung zur Grundlage; denn es ist sehr wahrscheinlich, dass der Schweif der Kometen das Resultat eines ganz anderen Processes ist, als desjenigen, welcher die Sternschnuppenschweife verursacht.

Halley glaubte, dass eine in den Himmelsräumen zerstreute Materie bei dem fortgesetzten Falle zur Sonne hin sich concentriren müsse, und, bei dem Begegnen mit der Erde,

<sup>49)</sup> Humboldt, Kosmos III. p. 623. (p. 582 ed. di Milano). Cardani Opera Lugduni 1663 t. III. p. 279.

<sup>50)</sup> Kepleri opera, ed. Frisch t. VI. p. 157.



das Phänomen der Sternschnuppen hervorbringe <sup>51)</sup>. Diese Hypothese nähert sich sehr dem Resultate der neueren Forschungen. Maskelyne, kühner als Halley, machte aus den Meteoren ebensoviele Himmelskörper, und schien auch geneigt, sie zu den Kometen zu rechnen. Er schrieb in seinem Briefe an den Abbate Cesaris, Astronom von Mailand, unter dem Datum des 12. December 1783, wie folgt <sup>52)</sup>: „Libenter accipias, precor, chartulam, quam nuper edidi ad excitanda hominum tam doctorum, quam indoctorum ingenia ad acrius observanda meteora ignea dicta Fire-balls. Forte fortasse cometae evasurae sunt. Operam vestram in hac re, quae mihi magni momenti videtur, impendere, Vir doctissime, ne dedigneris, utpote quae ad Philosophiam naturalem saltem, forte etiam ad Astronomiam ipsam promovendam conducere potest.“

Chladni hat in seinem ausgezeichneten Werke über Feuermeteore <sup>53)</sup> die Entstehung derselben mit den Kometen in Zusammenhang zu bringen gesucht. Bei seiner Begründung der kosmischen Hypothese betrachtet er zwei Fälle als möglich. Entweder sind die Feuermeteore selbständige Anhäufungen von Materie, welche keine Theile von grösseren Himmelskörpern gewesen sind, oder sie sind das Zerstörungsproduct eines früher existirenden Himmelskörpers. Chladni hält diese zweite Hypothese für möglich, unterstützt aber die erste als wahrscheinlicher. Er bemerkte zugleich, dass man an der Existenz vieler kleiner mit eigener Bewegung begabter Körper im Himmelsraume nicht zweifeln könne, welche zuweilen sichtbar werden, wenn sie vor der Sonne vorbeiziehen. Nach Chladni würden diese zerstreuten Massen Anhäufungen von primitiver kosmischer Materie sein, aus welcher sich auch die grossen Gestirne des Universum gebildet haben. Viele der für unauflöslich gehaltenen Nebelflecken wären nichts anderes als Theile dieser äusserst dünnen Materie, die in sehr ausgedehnten Räumen weithin zerstreut sei. Chladni meinte, dass die Kometen von diesen Nebelflecken sich nur durch die Kleinheit ihres Volumen, durch ihre Isolirung und vielleicht auch durch grössere Dichte unterscheiden. Auch die kleineren Massen, welche uns unter der Form von Boliden und Sternschnuppen sichtbar werden, scheinen von den Kometen nicht wesentlich sich zu unterscheiden. Auch ist es wahrscheinlich, sagt Chladni, dass die Kometen einfach aus Wolken bestehen, die aus dunstartigen und grösstentheils pulverförmigen Massen gebildet sind,

<sup>51)</sup> Coulvier-Gravier. Introduction historique, p. 5.

<sup>52)</sup> Dieser Brief ist in den Archiven der Sternwarte von Brera aufbewahrt.

<sup>53)</sup> Ueber Feuermeteore und über die mit denselben herabgefallenen Massen. Wien 1819.



welche durch die gegenseitige Anziehung zusammengehalten werden. Dass diese Anziehung nicht hinreicht, die planetarischen Bewegungen merklich zu stören, ist ein Beweis für die sehr grosse Zerstreuung und Dünnhcit der Materie dieser Wolken, durch welche hindurch man häufig die Fixsterne hat beobachten können <sup>54</sup>).

Diese so denkwürdigen Ideen Chladni's wurden in Deutschland niemals völlig vergessen. Man kann ihr Echo in verschiedenen Schriften finden, wie in der Meteorologie von Kaemtz und in der Astronomie von Littrow <sup>55</sup>). Freiherr von Reichenbach publicirte i. J. 1859 eine Abhandlung über die gegenseitigen Beziehungen der Aërolithen und Kometen, welche völlig auf die Ansichten Chladni's gegründet war <sup>56</sup>). Er stellte sich vor, dass jeder Komet ein Haufen von Urmaterie sei, welche nach den Gesetzen der Attraction sich zu concentriren strebe und endlich in einen Duft von kleinen und äusserst zahlreichen Krystallen sich verwandle. Reichenbach nimmt nun an, dass die Aërolithen aus der Anhäufung dieser durch ihre gegenseitige Attraction gebildeten Krystalle entstehen, dass sie also hiernach nichts anderes als eine Art von Conglomerat seien; jeder Aërolith würde von der Verdichtung eines Kometen herkommen. Es ist zum mindesten sehr zweifelhaft, dass auf diese Weise so compacte und so harte Massen, wie die meisten Aerolithen sind, entstehen können. Will man aber auch nicht alle Theile dieser wunderlichen Hypothese annehmen, so ist es doch vielleicht nicht unmöglich, dass in ihr etwas Wahres verborgen sei. Die Ansicht der Entstehung von Himmelskörpern aus der Agglomeration von kosmischem Staube ist neuerdings von Hofrath v. Haidinger mit dem ganzen Gewichte seiner Autorität unterstützt worden <sup>57</sup>). Wenn ich hier eine vollständige Geschichte der Ansichten über den Ursprung der Sternschnuppen zu geben beabsichtigt hätte, so müsste ich noch die Ansichten einiger anderer Forscher citiren, welche auf dem Wege einer mehr oder weniger willkürlichen Induction zu der Vermuthung von Analogien zwischen den Feuermeteoriten und den Kometen geführt wurden. Unter diesen will ich nur den Abbé Raillard nennen, welcher unlängst die von ihm i. J. 1839 über diesen Gegenstand ausgesprochenen Ansichten wiederholt veröffent-

<sup>54</sup>) Feuermeteore, p. 395—409. Kaemtz, Meteorologie Bd. III. p. 316.

<sup>55</sup>) Kaemtz loc. cit. Littrow, Die Wunder des Himmels, 5. Auflage, p. 504. 533. 709.

<sup>56</sup>) Die Meteoriten und die Kometen nach ihren gegenseitigen Beziehungen in Poggendorff's Annal. B. CV. p. 438.

<sup>57</sup>) Sitzungsberichte der Wiener Akad. d. Wissenschaften XLIII. Bd. p. 408.



licht hat <sup>58)</sup>, und den Dr. Forster, nach welchem die durch die Erscheinung grosser Kometen ausgezeichneten Jahre auch reicher an Sternschnuppenerscheinungen sind, besonders an weissen <sup>59)</sup>. —

34. Niemand aber ist, so weit meine Kenntniss reicht, der Wahrheit so nahe gekommen und hat so genaue und bestimmte Ansichten über die gegenseitige Beziehung der Kometen und der Feuermeteore ausgesprochen, als der Amerikaner Daniel Kirkwood, Professor an der Indiana-Universität. Seine Theorie nähert sich derjenigen, welche heutigen Tages als die wahrscheinlichste angenommen wird, so sehr, dass ein ausführliches Exposé derselben mehr als ein rein historisches Interesse gewähren kann.

„Die Astronomen haben über den Ursprung der Kometen verschiedene Ansichten aufgestellt: Einige glauben, dass sie von aussen her zu unserm Sonnensysteme gelangen; Andere setzen ihren Ursprung innerhalb desselben. Die erste Hypothese rührt von Laplace her und ist von vielen ausgezeichneten Astronomen günstig aufgenommen worden... Vor der Erfindung des Fernrohrs war die Erscheinung eines Kometen eine vergleichsweise seltene Sache. Die Zahl der dem unbewaffneten Auge in den letzten 360 Jahren sichtbar gewordenen Kometen beträgt 55, also im Mittel 15 in einem Jahrhundert. Gegenwärtig findet man 4 oder 5 in jedem Jahre. Weil viele von ihnen äusserst schwach sind, so ist es wahrscheinlich, dass eine ungeheure Anzahl von Kometen, die zu klein sind, um gesehen werden zu können, das Gebiet der Sonne unausgesetzt durchschweifen. Wenn wir für den Ursprung der Kometen die Hypothese von Laplace annehmen, so können wir ein fast immerwährendes Niederfallen von primitiver Nebelmaterie nach dem Centrum unseres Systemes hin voraussetzen, deren kleinere Massen bei dem Durchgange durch die Atmosphäre der Erde die sporadischen Meteore hervorbringen, während die grösseren Massen die Kometen bilden. Die perturbirende Einwirkung der Planeten kann die Bahnen von vielen der ersteren und der letzteren in Ellipsen umgebildet haben. Es ist eine interessante Thatsache, dass die Bewegungen einiger leuchtender Meteore (oder Kometoiden, wie man sie vielleicht nennen könnte) einen Ursprung ausserhalb der Grenzen des Planetensystems ganz bestimmt angezeigt haben.“ —

„Aber wie erklären wir nach dieser Theorie die Erscheinungen der periodischen Sternschnuppen? Die Thei-

---

<sup>58)</sup> Les Mondes t. XII. p. 649 und t. XIII. p. 606.

<sup>59)</sup> Forster, Essai sur l'influence des comètes. Bruges, 1843.



lung des Biela'schen Kometen in zwei getrennte Theile gab zu vielen interessanten Fragen über die physische Beschaffenheit der Kometen Veranlassung. Die Natur der trennenden Kraft blieb zu erforschen übrig; man kann aber unmöglich daran zweifeln, dass sie von der abstossenden Kraft der Sonne herrühre, wie auch die Art und Weise der Wirkung beschaffen sein möge . . . Viele der von den Historikern berichteten Thatsachen machen es höchst wahrscheinlich, wenn nicht gewiss, dass, ausser bei dem Biela'schen Kometen, noch andere Theilungen von Kometen statt gefunden haben. Kann aber diese Kraft, welche eine Trennung hervorgebracht hat, den Kometen auch nicht noch weiter zertheilen? Kann diese Wirkung sich nicht fortsetzen, bis die Fragmente unsichtbar geworden sind? Nach der heute allgemein angenommenen Theorie rühren die periodischen Erscheinungen der Sternschnuppen davon her, dass die Bahnen dieser nebelartigen Körper die jährliche Bahn der Erde durchschneiden. Man hat aber vielen Grund zu glauben, dass diese Meteorringe sehr excentrisch und in dieser Beziehung den primitiven Dunstringen völlig unähnlich sind, welche nach der Nebeltheorie sich successive vom Sonnenäquator loslösten, mit anderen Worten, dass die Materie, aus der sie gebildet sind, sich viel eher in kometarischen, als in planetarischen Bahnen bewegt. Können deshalb nicht etwa unsere periodischen Meteore die Bruchstücke alter zerstörter Kometen sein, deren Materie sich längs ihrer Bahn vertheilt hat?“

Diese Ansichten wurden von Kirkwood 1861 in der *Danville Quarterly Review* publicirt; wahrscheinlich würde kein Astronom Kenntniss von ihnen erlangt haben, wenn der Autor selbst sie nicht 1867 in seiner Schrift über die Meteorische Astronomie <sup>59)</sup> wiederholt hätte. Wie dem auch sei, man kann dem Prof. Kirkwood nicht das Verdienst absprechen, dass er zuerst der Wahrheit so nahe gekommen ist, als es auf dem Wege der reinen conjecturalen Induction nur irgend möglich ist. —

35. Niemand von den bis jetzt angeführten Schriftstellern war jedoch dahin gelangt, der vermutheten Analogie oder Beziehung zwischen den Sternschnuppen und den Kometen eine grössere Wahrscheinlichkeit zu verleihen, als die einer einfachen Vermuthung. — Indessen ist doch in dieser Beziehung der von Prof. H. L. v. Boguslawski gemachte Versuch bemerkenswerth; dieser Astronom suchte schon vor 30 Jahren die scheinbaren Bahnen einiger Sternschnuppen des 10. August

---

<sup>59a)</sup> Meteoric Astronomy, a Treatise on shooting stars, fireballs and aerolithes, Philadelphia, 1867, p. 125—128.



1837 mittelst der Parabel darzustellen <sup>60</sup>). Da ich seine Originalabhandlung nicht habe sehen können, so kann ich unmöglich sagen, welchen Erfolg dieser Versuch gehabt hat. Sicher aber ist, dass diese Idee später weder von Boguslawski selbst, noch von Andern, weiter entwickelt worden ist. Erman hatte in seinen berühmten Abhandlungen die parabolische Bahn als eine Grenze hingestellt, welche die periodischen Sternschnuppen nicht erreichen können; aber seine Theorie der Verdunkelungen oder Offuscationen verlangte kurze Perioden sowohl für die August-Sternschnuppen, als für die des November, und schloss absolut Bahnen von langer Umlaufszeit aus, wie man aus seiner neueren Abhandlung über diesen Gegenstand sehen kann <sup>61</sup>). Nachdem die Erscheinung der täglichen Variation der Häufigkeit der Sternschnuppen durch die Arbeiten von Herrick und von Coulvier-Gravier besser bekannt und bewiesen wurde, dass sie eine Folge der Combination der eigenen Bewegung der Meteore mit der Bewegung der Erde in ihrer Bahn sei, erkannte Prof. Newton sofort, dass das Gesetz der täglichen Variation irgend welche Aufklärung über die absolute Geschwindigkeit der Sternschnuppen im Raume geben könne; aus der Discussion der Beobachtungen von Coulvier-Gravier folgerte er, dass die mittlere Geschwindigkeit der Sternschnuppen grösser sein müsse, als die der Erde, und dass ihre Bahnen im Allgemeinen sehr excentrisch seien <sup>62</sup>). Der Verfasser dieser Schrift ist in seinen Briefen an P. Secchi, indem er denselben Weg wie Prof. Newton einschlug, zu der Entwicklung der Kometentheorie der Sternschnuppen gelangt. —

36. Die Grundidee, welche bei der Herleitung der Geschwindigkeit der Meteore aus dem Gesetze der täglichen Variation leitet, ist folgende: Weil man nach den Untersuchungen über die Perseiden und über die Leoniden von Erman und von H. A. Newton <sup>63</sup>) bei den kosmischen Meteo-

<sup>60</sup>) Eine Analyse dieser Arbeit gaben Coulvier-Gravier und Saigey in ihrer Introduction historique, pag. 103, ohne den Ort der Publication zu citiren. Das dort von den französischen Schriftstellern hierüber ausgesprochene Urtheil entspricht vollständig dem Geiste, mit welchem dies ganze Buch geschrieben ist. Man vergleiche Note <sup>47</sup>). Auf diese Arbeit von Boguslawski scheint sich eine Stelle der Astron. Nachr. Nr. 383, p. 372 zu beziehen. —

<sup>61</sup>) Archiv für die wissenschaftliche Kunde von Russland t. XXV.

<sup>62</sup>) Americ. Journ. of Science. März 1865.

<sup>63</sup>) Vgl. Erman: Ueber Sternschnuppen der August-Periode, Astron. Nachr. Nr. 385, worin er zeigte, dass die Perseiden sicherlich eine grössere Neigung als  $56^{\circ}$  hätten. Vgl. ferner Newton, On November Star showers in Americ. Journ. of Science Juli 1864, wo der Verfasser aus der rechtläufigen Bewegung der Knoten, der Leoniden in der einfachsten und sinnreichsten Weise schloss, dass die Bahnbewegung dieser Meteore nothwendig rückläufig sei.



ren unzweifelhafte Beispiele von grossen Neigungen und rückläufigen Bewegungen antrifft, so ist es nicht wahrscheinlich, dass die Sternschnuppen der Klasse der planetarischen Körper angehören. Die relative Geschwindigkeit, wie sie aus den Schätzungen verschiedener Beobachter hergeleitet ist, giebt ebenfalls einen annehmbaren, wenn nicht zwingenden Beweisgrund für die Annahme, dass die Meteorkörper in Richtungen sich bewegen, welche mit der Erdbahn Winkel von beliebiger Grösse bilden. Die Annahme, dass die Sternschnuppen ohne Unterschied von allen Richtungen des Raumes auf die Erde gelangen, dürfte hiernach nicht gegen die Vernunft sein und so lange keine weiteren Beweise vorliegen, durch die Erfahrung zu bestätigen sein. —

Wenn wir uns vorstellen, dass die Erde unbeweglich inmitten dieser Wolke von Projectilen stehe, so müssen offenbar alle Theile ihrer Oberfläche von diesen gleichmässig getroffen werden; dasselbe wird ebenfalls stattfinden, auch wenn sie sich um ihre Axe dreht; es würde alsdann auch keine stündliche Variation in der Anzahl der Sternschnuppen stattfinden. Wenn wir aber im Gegentheil annehmen, dass die Erde mit einer unvergleichlich schnelleren fortschreitenden Bewegung, als die Sternschnuppen begabt sei, so wird sie offenbar einen leeren Raum hinter sich zurücklassen, wie eine Kanonenkugel, welche durch einen Mückenschwarm hindurchfliegt. Alle Stösse werden auf der vorderen Halbkugel erfolgen, deren Axe die Richtung ist, nach welcher sich die Erde im Raume fortbewegt. Nach dieser Hypothese müsste man die Sternschnuppen so lange beobachten können, bis der Punkt des Himmels, nach welchem die Erde gerichtet ist, unter den Horizonte des Beobachters gelangt ist; sobald dieser Punkt untergegangen ist, wird jede Erscheinung einer Sternschnuppe sofort aufhören. Endlich kann man für die Erde einen mittleren Zustand zwischen dem der absoluten Ruhe und dem der übermässig grossen Geschwindigkeit annehmen, bei welchem die Erde mit einer Geschwindigkeit fortschreitet, derjenigen vergleichbar, mit welcher [sich die Atome des kosmischen Staubes fortbewegen. Es wird hieraus für die Erscheinung der Sternschnuppen ebenfalls ein mittlerer Zustand zwischen den beiden obenerwähnten Fällen stattfinden; die Sternschnuppen werden sich im Laufe eines Tages mit veränderlicher Häufigkeit zeigen; ihre Anzahl wird von der Höhe desjenigen Himmelspunktes über dem Horizonte abhängen, gegen welchen hin die Erde gerichtet ist. Der Kürze halber nennen wir diesen Punkt Apex. Man kann sich leicht vorstellen, wie die grösste Häufigkeit alsdann stattfinden muss, wenn der Apex die möglichst grösste Höhe über dem Horizonte des



Beobachters hat, und die kleinste, wenn der Apex die grösste Tiefe unter demselben Horizonte hat. —

Wenn wir nun die Erde in ihrer jährlichen Bewegung betrachten, so sehen wir, dass ihr Apex fortwährend veränderlich ist. Er durchläuft in einem Jahre die ganze Ekliptik, indem er sich von der Sonne nach Westen hin in einer fast constanten Entfernung erhält, welche zwischen  $89^{\circ}$  und  $91^{\circ}$  hin und her schwankt. Dieser Apex culminirt im oberen Meridian in den Morgenstunden, im Mittel gegen 18 Uhr der astronomischen Zeit; er erreicht den unteren Meridian Abends gegen 6 Uhr; nach den Jahreszeiten können diese Epochen etwas variiren. Ist aber das oben Gesagte richtig, so muss die grösste Menge der Sternschnuppen des Morgens und die kleinste des Abends beobachtet werden. Dies ist aber gerade das Gesetz der täglichen Variation, welches aus den Untersuchungen von Coulvier-Gravier und von Schmidt hervorgeht. Man begreift auch, wie der Gang dieser täglichen Variation und vornehmlich das Verhältniss zwischen der grössten und kleinsten Häufigkeit innig mit dem Verhältniss zusammenhängt, in welchem die Geschwindigkeiten der Sternschnuppen und der Erde zu einander stehen. Ich will hier die Natur dieser Beziehung nicht weiter entwickeln, weil ich diese Betrachtung mir speciell für das VI. Capitel dieser Schrift aufgespart habe. —

37. Als ich im August 1866 die Ankunft der Perseiden zu beobachten im Begriff war, nahm ich mir vor, diesen Weg zu versuchen, um das Haupthinderniss hinwegzuräumen, welches den Fortschritt der meteorischen Astronomie seit vielen Jahren gehemmt hatte, und um zu einer irgendwie begründeten Schätzung der Geschwindigkeit zu gelangen, mit welcher sich die Meteore im Raume bewegen. Indem ich von den Beobachtungen Coulvier-Gravier's über die tägliche Variation der Häufigkeit der Meteore ausging, indem ich ferner annahm, dass alle Sternschnuppen eine gewisse mittlere absolute Geschwindigkeit besitzen, sobald sie in die Attractionsphäre der Erde gelangen, indem ich endlich den Einfluss vernachlässigte, welchen die Höhe und Durchsichtigkeit der Atmosphäre, sowie die Attraction der Erde auf die Erscheinung der täglichen Variation ausüben, war es nicht mehr schwierig, die theoretische Beziehung zwischen der mittleren Geschwindigkeit der Meteore und dem oben erwähnten Gesetze der Variation zu entwickeln <sup>64</sup>). Aus dieser Arbeit, die im September 1866 publicirt wurde,

---

<sup>64</sup>) Erster Brief an Pater Secchi in dem *Bulletino meteorologico dell' osservatorio del Collegio Romano* vol. V. In dem sechsten Capitel dieser Schrift wird auch gezeigt werden, innerhalb welcher Grenzen die Resultate dieser Theorie mit den Beobachtungen vergleichbar sind.



geht hervor, dass die beobachtete tägliche Variation der Sternschnuppen mit grosser Annäherung durch die Theorie dargestellt werden kann, sobald man die mittlere Geschwindigkeit der Meteore gleich setzt  $1,45$  mal der mittleren Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn, d. h. fast gleich der Geschwindigkeit der parabolischen Bewegung, welche bekanntlich zur Geschwindigkeit der Kreisbewegung sich verhält wie  $\sqrt{2} : 1$ .

So gelangte ich zur Bestätigung des Resultates, welches kurz zuvor Prof. Newton durch eine ähnliche Untersuchung gewonnen hatte <sup>65</sup>). Dieser gelangte nämlich in einer Abhandlung über die Sternschnuppen, vorgetragen in der National-Akademie zu Washington am 6. August 1865, durch eine von der meinigen wenig verschiedene Rechnung zu dem Schlusse, „dass das Gesetz der täglichen Variation, streng aus den Zahlen von Coulvier-Gravier entnommen, eine grössere mittlere Geschwindigkeit verlangt, als die einer parabolischen Bahn entsprechende. Obgleich der Charakter der Beobachtungsdaten nicht gestattet, den Beweis genauer zu führen, so kann man es doch als fast gewiss betrachten (bei der Voraussetzung, dass die Richtungen der absoluten Bewegungen gleichförmig um die Erde herum vertheilt sind), dass die mittlere Geschwindigkeit der Meteore die der Erde beträchtlich übertrifft, und dass ihre Bahnen nicht nahezu kreisförmig sind, sondern sich vielmehr denen der Kometen nähern.“ Diese Uebereinstimmung in den Schlussfolgerungen war um so bemerkenswerther, als mir bei meinen Untersuchungen die etwas früher vollführte Arbeit von Newton völlig unbekannt war.

Wenn auch das Resultat aus einer unvollständigen Theorie hergeleitet und auf noch nicht völlig sichere Prämissen gegründet <sup>66</sup>) war, so eröffnete es doch ein neues Feld von Wahrscheinlichkeiten und Spekulationen. — Giebt man in der That zu, dass die Meteore den die Erde umgebenden Raum mit parabolischer Geschwindigkeit durchlaufen, so folgt hieraus nothwendig, dass sie sehr lang gestreckte Kegelschnitte beschreiben, ähnlich den Kometenbahnen. Die von Erman für die Perseiden gefundene sehr grosse Neigung und die von

<sup>65</sup>) On Shooting stars. Amer. Journ. of Science, March 1865. —

<sup>66</sup>) Die Mängel dieser Theorie und die nicht völlige Sicherheit ihrer Prämissen, auf welche sie sich stützte, sind mehr als ein Mal ihren Urhebern vorgeworfen worden. Man muss aber auch hiebei den Zustand der Unsicherheit erwägen, in welcher bisher die Ideen über die Meteor-Astronomie sich befanden. Für diesen Gegenstand, so wie für einige andere das Studium der Meteore betreffende Umstände, kann man das wiederholen, was Prof. Newton zu seiner Vertheidigung in seiner oben citirten Abhandlung anführte: „If it shall appear, that I use rude processes and inexact data, and reject terms of considerable importance, I must plead that it is a step forward to do anything in this direction, and express the hope, that better data will soon warrant the use of more refined processes.“



Newton für die Novembermeteore nachgewiesene rückläufige Bewegung liessen vermuthen, dass die Analogie zwischen den Bahnen der Sternschnuppen und Kometen nicht nur in ihrer Form, sondern auch in der Lage in Bezug auf die Ebene der Ekliptik bestehe. So bot sich naturgemäss die schon von Halley vermuthete Hypothese dar, dass die Sternschnuppen, so wie die Kometen, zu uns aus den Fixsternräumen kommen. Da die Sternschnuppen zu Systemen vereint zu uns gelangen, so war die Vorstellung, dass sie schon in den Tiefen des Raumes sich zu Systemen vereinten und dass sie dort Anhäufungen von äusserst dünner Materie bilden, ebenfalls von der Natur geboten. Wenn man untersucht, welche Umbildungen eine solche Anhäufung bei ihrer Annäherung an das Sonnensystem erleiden muss, so erkennt man nicht ohne gerechtes Erstaunen, dass für jede sehr dünne, von der Sonne angezogene Wolke, möge sie aus continuirlicher Materie bestehen oder aus getrennten Theilchen, das Gesetz der Attraction mit Nothwendigkeit die Umbildung dieser unzusammenhängenden Masse in einen dünnen und sehr langen Strom bestimmt, der nach einer Curve gekrümmt ist, welche in den uns benachbarten Räumen von einer Parabel wenig abweicht und im Allgemeinen sich einem sehr in die Länge gezogenen Kegelschnitt nähert. — Hierin glaubte ich den Schlüssel für die Bildung der nicht periodischen Sternschnuppenströme gefunden zu haben <sup>67)</sup>.

Eine ähnliche Theorie erklärte die Bildung der ringförmigen periodischen Ströme, als deren einen man den Novemberstrom bisher schon mit Grund vermuthen konnte. Eine kosmische Wolke, welche noch nicht in einen Strom sich aufgelöst hat und deshalb relativ dichter ist, als die vorhergenannten, kann bei grosser Annäherung an einen der grösseren Planeten in eine Bahn von kurzer Periode und von kleiner Periheldistanz abgelenkt werden. Bei dem Durchgange durch das Perihel kann diese Wolke durch die Verschiedenheit der Wirkung der Attraktionen der Sonne auf ihre verschiedenen Theile oder (um einen einzigen Ausdruck zu gebrauchen, den wir häufig anwenden können) durch die auflösende Kraft der Sonne zerstreut werden; die Wolke wird sich nach und nach zu einem Strome verlängern, der sich endlich schliesst und einen elliptischen Ring bildet <sup>68)</sup>. In diesem Falle stimmt die Art und Weise der Bildung der Ströme völlig mit derjenigen überein, welche einige Jahre zuvor Prof. Kirkwood dargestellt hat (s. §. 34.). —

38. Diese Ideen waren nicht nur mit allen bis jetzt

<sup>67)</sup> Zweiter Brief an R. P. Secchi. *Bulletino meteorologico dell' osservatorio del collegio Romano*, 1866 vol. V.

<sup>68)</sup> Dritter Brief an P. Secchi, l. c.



bekannten Thatsachen, sondern auch mit den kosmogonischen Hypothesen von W. Herschel und Laplace in vollkommener Uebereinstimmung. War es nicht äusserst wahrscheinlich für die in den Himmelsräumen zerstreute Materie alle möglichen Grade der Concentration, der Dichtigkeit und der Zertheilung anzunehmen? Da ferner die starken Neigungen und die rückläufigen Bewegungen keine Wahrscheinlichkeit zulassen, die Entstehung der Sternschnuppen mit der der planetarischen Körper des Sonnensystems in Zusammenhang zu bringen, war es alsdann nicht fast unvermeidlich, ihnen einen ähnlichen Ursprung wie den Kometen zuzuerkennen? Die Bildung der Ströme wurde hierdurch sehr leicht und natürlich erklärt. Die Beobachtungen von Coulvier-Gravier liessen eine grosse Wahrscheinlichkeit dafür erkennen, dass die Sternschnuppenbahnen sehr langgestreckte Kegelschnitte sind. Endlich hatte Prof. Hoek kurz zuvor mit grosser Wahrscheinlichkeit auf die Möglichkeit hingewiesen, dass auch die Kometen aus den Tiefen des Himmels nicht als isolirte Massen zu uns gelangen, sondern als Glieder von zusammengesetzteren Systemen, indem sie ebenfalls Ströme bilden, von zwar nicht identischer aber doch analoger Art, wie die Sternschnuppenströme. Bei dem Stande der bisherigen Meteorastronomie waren folglich die obigen Schlüsse von sehr grosser Wahrscheinlichkeit; die so über die Bahn und den wahrscheinlichen Ursprung der Sternschnuppen erlangten Kenntnisse schienen mir von genügender Solidität zu sein, um sie als Grundlage zu weiteren Untersuchungen zu benutzen.

Wenn man nun erwägt, dass im Raume die Existenz von Sternschnuppenströmen constatirt und die Existenz von Kometensystemen wahrscheinlich ist, wenn man ferner ihren gemeinsamen Ursprung in Rechnung zieht, wenn man endlich gewisse zweifelhafte Erscheinungen berücksichtigt, welche Uebergangsstufen zwischen den Kometen und Meteoren bilden, so ist die Frage sehr natürlich, ob diese beiden Klassen von Körpern wirklich so verschieden seien, als man bisher geglaubt hatte, ob die Kometen mit strenger Nothwendigkeit aus dem Gebiete der Meteore auszuschliessen seien, oder ob nicht vielmehr zu erwarten sei, dass man Kometen und Sternschnuppenströme auffinden würde, welche im Raume identische Bahnen beschreiben.

Nach dieser Idee berechnete ich die von den Sternschnuppen des 10. August im Raume beschriebene Parabel. Wenn man die Richtung und die Grösse der absoluten Bewegung der Erde kennt, die Geschwindigkeit der Perseiden gleich der parabolischen voraussetzt, und wenn die Richtung der relativen Bewegung derselben und der Erde gegeben ist, so kann man leicht



die Richtung der absoluten Bewegung der Perseiden im Raume berechnen und daraus die Tangente der von ihnen beschriebenen Parabel bestimmen. Eine Parabel aber, deren Brennpunkt, Tangente und Berührungspunkt gegeben ist, ist vollständig bestimmt. Indem ich als Coordinaten des Radiationspunktes folgende von Prof. A. S. Herschel i. J. 1863 hergeleitete annahm:

$$AR = 44^{\circ}; \text{Decl.} = + 56^{\circ},$$

indem ich weiter annahm, dass im Jahre 1866 das Maximum der Häufigkeit August 10,75 stattfand, leitete ich folgende Bahn ab, bei welcher die elliptische Bewegung der Erde berücksichtigt, aber der in der That unmerkliche Einfluss der täglichen Bewegung der Erde vernachlässigt ist:

| Elemente der Perseiden 1866.                |              |
|---------------------------------------------|--------------|
| Durchgang durch das Perihel Juli            | 23, 62       |
| Durchgang durch den niedersteigenden Knoten | August 10,75 |
| Länge des Perihels                          | 343° 38'     |
| Länge des aufsteigenden Knotens             | 138 16       |
| Neigung                                     | 64 3         |
| Periheldistanz                              | 0,9643       |
| Umlaufszeit                                 | 108 Jahre?   |
| Bewegung                                    | rückläufig.  |

Für diese Rechnung bediente ich mich einer Methode, ähnlich der, welche Erman in Nr. 385 der Astronomischen Nachrichten angewendet hat; von ihren zwei möglichen Lösungen verwarf ich diejenige, welche für die Perseiden eine negative Geschwindigkeit giebt und dieselben von demjenigen Punkte des Himmels herkommen lässt, welcher dem Radiationspunkte direct entgegengesetzt ist. Die relative Geschwindigkeit, mit welcher die Sternschnuppen auf die Erde gelangen, beträgt hiernach 8 deutsche Meilen; dies stimmt genau genug mit den von A. S. Herschel durch directe Beobachtung gewonnenen Angaben überein <sup>69)</sup>. Die von der Anziehung der Erde hervorgebrachte Acceleration ändert dies Resultat nur um eine zu vernachlässigende Grösse.

Die Elemente des grossen Kometen des Sommers 1862 sind nach der letzten Berechnung des Dr. Oppolzer <sup>70)</sup> folgende:

<sup>69)</sup> Proceedings of the British Meteorol. Society, vol. II, p. 19, wo die mittlere Fallgeschwindigkeit für die Perseiden von 1863 auf ungefähr  $7\frac{1}{2}$  d. Meilen abgeschätzt ist.

<sup>70)</sup> Astron. Nachrichten Nr. 1638.



## Elemente des Kometen 1862 III.

|                                 |                 |
|---------------------------------|-----------------|
| Durchgang durch das Perihel     | 1862 Aug. 22, 9 |
| Länge des Perihels . . . . .    | 344° 41'        |
| Länge des aufsteigenden Knotens | 137 27          |
| Neigung . . . . .               | 66 26           |
| Periheldistanz . . . . .        | 0,9626          |
| Umlaufszeit . . . . .           | 121,5 Jahre     |
| Bewegung . . . . .              | rückläufig.     |

Man sieht, dass diese beiden Elementensysteme von einander sich nur durch eine Grösse unterscheiden, die man leicht der geringen Genauigkeit beimessen kann, mit welcher man die Position des Knotens und des Radiationspunktes der Perseiden bestimmen kann. Der Hauptunterschied liegt in der Umlaufszeit: es ist aber dabei zu bemerken, dass die Periode der Perseiden von 108 Jahren äusserst zweifelhaft ist, daher habe ich sie nicht bei der Berechnung der anderen Elemente berücksichtigt, welche einer genauen Parabel angehören <sup>71)</sup>. Uebrigens ist die Coincidenz der Umlaufszeiten in beiden Bahnen bei weitem nicht so nothwendig, als für die anderen Zahlenangaben. Denn bei den sehr langgestreckten Bahnen ist die Umlaufszeit verhältnissmässig viel grösseren Variationen unterworfen, als die anderen Elemente, von welchen hauptsächlich die Lage und Gestalt des der Sonne näheren Theiles der Bahn abhängt. —

Zu diesen Resultaten war ich Ende November 1866 gelangt; ich habe sie aber erst im folgenden December veröffentlicht <sup>72)</sup>. Gleichzeitig gab ich die angenäherte Bahn der Novembersternschnuppen, welche unter der Annahme berechnet ist, dass sie sich in einer Ellipse von  $33\frac{1}{4}$  Jahr bewegten. Da das von mir zu dieser Zeit benutzte Kometenverzeichniss nicht weiter als bis Ende 1865 reichte, so entging mir damals die Aehnlichkeit der Bahn dieser Sternschnuppen mit der des Kometen 1866 I. —

<sup>71)</sup> Die Periode von 108 Jahren ist von mir aus folgenden aussergewöhnlichen Erscheinungen der Perseiden abgeleitet worden, die sich in den Katalogen von Quetelet und von Ed. Biot finden,

830, 833, 835, 841  
925, 926, 933,  
1029,  
1243,  
1451,  
1779, 1784, 1789,

welche man zusammen gut in eine einzige Periode vereinigen kann, wenn man annimmt, dass alle 108 Jahre die Perseiden ein Maximum der Häufigkeit haben, welches aber nicht so plötzlich kommt und so kurz ist, wie das der Leoniden, sondern 20 oder 30 Jahre dauert.

<sup>72)</sup> Vierter Brief an P. Secchi. vol. V. del Bullet. Meteor. etc.



39. Indessen hatte sich die grosse periodische Wiederkehr der Leoniden, welche von Olbers 1837 schon vermuthungsweise und von Newton 1864, auf bessere Grundlagen historischer Angaben gestützt, angekündigt war <sup>73)</sup>, in glänzender Weise in der Nacht vom 13. zum 14. November 1866 bestätigt und das Publikum mit Erstaunen erfüllt, nicht minder aber auch die Astronomen, von denen viele die Erscheinungen der Sternschnuppen in geringschätzender Weise als kaum gut genug für die Beschäftigung von Dilettanten hielten. Seit dem Jahre 1759, in welchem die erwartete Erscheinung eines Kometen zum ersten Male eintraf, hatte niemals die Bestätigung der erwarteten Wiederkehr eines periodischen Phaenomens auf die Geister einen grösseren Eindruck gemacht, als das Eintreffen des grossartigen Novemberphaenomens im Jahre 1866. Durch dasselbe erlangte das Studium der kosmischen Meteore die Würde einer Wissenschaft und nahm endlich einen ehrenvollen Platz unter den anderen Zweigen der Astronomie ein. Aber, wenn auch die Wiederholung des Phaenomens innerhalb bestimmter Perioden mit Evidenz den astronomischen Ursprung der Sternschnuppen nachwies, so dauerte dennoch die grosse Unsicherheit über die von den Leoniden im Raum durchlaufene Bahn fort. Die Resultate meiner Untersuchungen waren noch wenig bekannt und verbreitet; bekannter dagegen waren die des Prof. Newton, welcher zu Ende des Jahres 1864 mittelst sehr sinnreicher Betrachtungen die Zahl der für ihre Umlaufszeit annehmbaren Perioden auf fünf beschränkt hatte. Unter diesen Perioden musste die, als am meisten wahrscheinlich bezeichnete, die Dauer von 354, 62 Tagen haben; dieser entsprach mit Nothwendigkeit eine beinahe kreisförmige Bahn, während die von mir abgeleitete Umlaufszeit von  $33\frac{1}{4}$  Jahr einer länglicheren Ellipse entsprach. —

Prof. Newton hatte scharfsinnig nachgewiesen, dass die Bewegung der Leoniden, wie gross auch immer ihre Umlaufszeit sein möge, in einer zur Ekliptik wenig geneigten Ebene und in rückläufigem Sinne vor sich gehen müsse. Dieser Umstand, welcher bei der von mir vertheidigten Hypothese keine Schwierigkeit darbot, liess dagegen in Verbindung mit der Annahme einer fast kreisförmigen Bahn grosse Zweifel über den Ursprung der Leoniden auftauchen; er war auch nicht nur bis jetzt ohne Beispiel, sondern schien sich auch nicht leicht mit den herrschenden Ideen über die Bildung des Sonnensystemes zu vertragen. Bei solchen Untersuchungen,

---

<sup>73)</sup> On November starshowers. Amer. Journ. of science 1864. May and July. —



wo sichere Thatsachen im Ueberfluss vorhanden sind, kann man derartige Betrachtungen vernachlässigen; in diesem Falle aber wäre es gefährlich gewesen. Die Schwierigkeit, die von Newton aufgestellte Bahn der Leoniden mit der Nebeltheorie in Einklang zu bringen, fand in der That sofort einen bewährten Interpreten an Sir John Herschel, welcher aus Collingwood am Tage der grossen Wiedererscheinung der Leoniden schrieb: „How far this conclusion of a retrograde motion of the meteorites revolution round the sun — a conclusion already, I believe, arrived at by Mr. Newton — is compatible with the truth of the Nebular hypothesis, we may leave it to the advocates of that hypothesis to consider.“<sup>74)</sup>

Diese Art von Herausforderung wurde von Le Verrier angenommen, welcher seinerseits zu Vorstellungen gelangt war, die von den meinigen und von denen des Prof. Kirkwood wenig abwichen, und der in der Akademie der Wissenschaften zu Paris in der Sitzung vom 21. Januar 1867 die Resultate seiner Betrachtungen darlegte<sup>75)</sup>. Nachdem er die Gründe entwickelt hatte, weshalb er es nicht für wahrscheinlich halte, dass diese Körper zugleich mit den übrigen Körpern des Planetensystems gebildet worden seien, erklärte er die Unmöglichkeit, dass von aussen her kommende Massen durch die Atraction der Planeten hätten gezwungen werden können, eine Bahn von ein oder zwei Jahren Umlaufszeit zu beschreiben. Hierauf löste er das von Sir J. Herschel gestellte Dilemma durch die Annahme auf, dass die Bahn der Novembersternschnuppen nicht beinahe kreisförmig sei, wie Newton annehme, sondern eine längliche Ellipse von  $33\frac{1}{4}$  Jahr Umlaufszeit, und gab für diese Ellipse angenäherte Elemente, ähnlich den einige Wochen früher von mir veröffentlichten. Da die Gesammtheit der Leoniden nur einen kleinen Theil der ganzen Ellipse einnimmt, so schloss Le Verrier hieraus mit Recht, dass der Schwarm von Körperchen in das Sonnensystem erst in einer vergleichsweise neuen Zeit gelangt sei. Er suchte ferner das Problem des Ursprunges der Leoniden zu lösen; indem er die Lage ihrer Bahn hinsichtlich der Bahnen der grösseren Planeten untersuchte, ward er zu dem Schlusse geführt, dass die Meteorwolke des November in ihre gegenwärtige Bahn durch die Anziehung des Uranus im Jahre 126 unserer Aera geleitet worden sei. Diese Ansichten von Le Verrier, denen er durch verschiedene Artikel im Moniteur und in mehreren Sitzungen der „Association scientifique“ eine sehr grosse Verbreitung zu geben

<sup>74)</sup> Monthly Notices of the Astron. Society 1866/67 vol. XXVII Nr. 2.

<sup>75)</sup> Comptes Rendus de l'Academie des sciences, t. 64, p. 94—99.



suchte, erregten in Frankreich, wo meine früheren Arbeiten hierüber noch wenig bekannt waren <sup>76)</sup>, grosses Aufsehen.

40. Inzwischen veröffentlichte der äusserst thätige Astronom Dr. Oppolzer zu Wien in den Astronom. Nachr. (Nr. 1624, vom 28. Januar 1867) die von ihm berechneten definitiven Elemente des Kometen von 1866 und schloss aus diesen auf eine Umlaufszeit von 33,1758 Jahren. Die fast vollständige Uebereinstimmung dieser Periode mit der von Le Verrier und von mir für die Novembersternschnuppen angenommenen Periode musste zur Vergleichung der anderen Elemente der beiden Bahnen anspornen. Diese Vergleichung wurde auch fast gleichzeitig und unabhängig von C. F. W. Peters (29. Jan.), von mir (2. Februar) und von Oppolzer (4. Februar) angestellt. Die Vergleichungen von Peters und von Oppolzer stützten sich auf die von Le Verrier und von mir berechneten, sehr unvollkommenen Elemente der Leoniden.

Eine genauere Berechnung mit Hilfe der englischen Beobachtungen des Radianten der Leoniden im Jahre 1866 gab mir folgende Vergleichung, bei welcher der Durchgang durch das Perihel auf die mittl. Zeit von Mailand bezogen ist.

|                                | Leoniden<br>v. 13. Nov. 1866 | Komet 1866 I |
|--------------------------------|------------------------------|--------------|
| Durchgang durch das Perihel    | Novbr. 10,092                | Jan. 11,160  |
| Länge des Perihels . . . . .   | 56° 25', 9                   | 60° 28', 0   |
| Aufsteigender Knoten . . . . . | 231 28, 2                    | 231 26, 1    |
| Neigung . . . . .              | 17 44, 5                     | 17 18, 1     |
| Periheldistanz . . . . .       | 0, 9873                      | 0, 9765      |
| Excentricität . . . . .        | 0, 9046                      | 0, 9054      |
| Halbe grosse Axe . . . . .     | 10, 340                      | 10, 324      |
|                                | Jahr                         | Jahr         |
| Umlaufszeit . . . . .          | 33, 25                       | 33, 176      |
| Bewegung . . . . .             | rückläufig                   | rückläufig.  |

Bei dieser Berechnung nahm ich an: 1) dass das Maximum des Novemberphaenomens am 13. November, 13<sup>h</sup> 11<sup>m</sup> mittl. Greenw. Zeit statt fand; 2) dass die Position des Radiationspunktes damals folgende war: 143° 12' Länge und 10° 16' nördliche Breite; 3) dass der periodische Umlauf 33,25 Jahre betrage, gemäss der von Prof. Newton untersuchten Rückkehr der grossen Sternschnuppenerscheinungen des No-

<sup>76)</sup> Dennoch war mein vierter Brief an P. Secchi, in welchem die Identificirung der Bahn der Perseiden mit der des Kometen 1862 III und meine ersten Elemente der Leoniden enthalten sind, schon in der Zeitschrift des Abbé Moigno „Les Mondes“ (Nr. vom 10. Januar 1867) veröffentlicht. Die Beziehung zwischen den Perseiden und dem Kometen 1862 III findet man in derselben Zeitschrift bereits in der Nummer vom 20. December 1866 angezeigt. —



vember. Die Position des Radiationspunktes ist das Mittel von 15 von A. S. Herschel gesammelten Bestimmungen (vgl. Monthly Notices, vol. XXVII p. 19). —

Diese neue Entdeckung beseitigte endlich jeden Zweifel über die Existenz eines Zusammenhanges zwischen Sternschnuppen und Kometen und über die Natur der Bahnen, welche sie im Raume beschreiben <sup>77)</sup>. Zugleich erhielt man das Mittel, alle die Meteorbahnen betreffenden Fragen einer genaueren Theorie zu unterwerfen, da die Beobachtungen der Kometen von einer ganz anderen Genauigkeit sind, als die der Sternschnuppen und ihrer Radiationspunkte. So verlor z. B. bei der Prüfung der gegenseitigen Lage der Bahnen des Uranus und des Tempelschen Kometen die Le Verrier'sche Hypothese über den Antheil des Uranus an dem Ursprunge der Leoniden denjenigen Grad von Wahrscheinlichkeit, welchen ihr berühmter Urheber ihr beimessen zu können glaubte, indem er nur die ersten und unvollkommenen von ihm gefundenen Elemente der Sternschnuppenbahn berücksichtigte. Untersuchungen, die sich auf die Bahn des Kometen von 1866 stützten, als eines Hauptkernes der Anhäufung von Materie, von welcher der Novemberstrom abstammt, haben zu Resultaten geführt, die von den Le Verrier'schen vollständig verschieden sind. Mit Recht aber bemerkt Director Littrow bei dieser Gelegenheit, dass, um solche Fragen mit entscheidendem Erfolg discutiren zu können, uns noch zu viele fundamentale Elemente fehlen <sup>78)</sup>. Es wird unvermeidlich sein, eine andere Rückkehr des Kometen von 1866 abzuwarten: deshalb können wir, wie Keppler bei ähnlicher Gelegenheit, sagen, dass die Lösung dieser Frage und anderer derselben Art latet in pandectis aevi sequentis. —

Wenn auch noch irgend etwas an dem zwingenden Beweise, dass die Bahn der Leoniden eine Ellipse von  $33\frac{1}{4}$  Jahr und keine andere sei, gefehlt hätte, so würde die letzte und schliessliche Ergänzung des Beweises durch eine interessante und mühsame Untersuchung des Prof. Adams geliefert

---

<sup>77)</sup> „Cette coincidence est si frappante, qu'elle ne permet aucun doute sur la communauté des origines,“ sagt Sir J. Herschel in les Mondes t. XIV, p. 370. Trotzdem giebt es noch Astronomen, welche die Uebereinstimmung der Bahnen der Kometen und der Sternschnuppen als eine Wirkung des Zufalles betrachten; für sie ist der fragliche Zusammenhang noch nicht bewiesen. Ich bitte sie, im Namen der Wahrheit und der Wissenschaft, sich nicht damit zu begnügen, ihre Zweifel nur in dogmatischer Weise auszusprechen, sondern klar und deutlich die Gründe darzulegen, auf welche jene Zweifel gestützt sind.

<sup>78)</sup> Littrow's Kalender für 1870, p. 12.



worden sein <sup>79)</sup>. Schon Prof. Newton hatte in einer Abhandlung über die Novembermeteore angedeutet, wie die säculare Bewegung der Knoten ihrer Bahnen zu der Bestimmung, welche der fünf von ihm für möglich erklärten Bahnen die wahre sei, führen könne <sup>80)</sup>. Prof. Adams führte die Idee von Newton aus und fand, dass die beobachtete Bewegung der Knoten mit keiner der fünf von Newton aufgestellten Bahnen sich vereinigen lasse, mit Ausnahme derjenigen von  $33\frac{1}{4}$  Jahr Umlaufszeit; er drückte hierdurch meinen und Le Verrier's Schlussfolgerungen das letzte Siegel der geometrischen, strengen Beweisführung auf (Brief von Prof. Adams an Delaunay 23. März 1867).

41. Von nun an nahm das Interesse für die Untersuchung der Beziehungen zwischen den Kometen und Sternschnuppen fortwährend zu. Schon im Februar 1867 hatte Prof. Edmund Weiss bemerkt, dass einige Epochen im Jahre, die als besonders reich an Sternschnuppenerscheinungen bezeichnet seien, solchen Punkten entsprächen, in denen die Erdbahn durch die Bahnen gewisser Kometen, besonders periodischer, geschnitten wird. Unter diesen bemerkte er zunächst den Kometen 1861 I. und den Biela'schen Kometen, deren Bahnen die Erdbahn in Punkten treffen, an welchen sich die Erde am 20. April und 28. November befindet, also an Tagen, welche durch die Häufigkeit von Sternschnuppen sich auszeichnen. Für den Kometen 1861 I. hatte die Untersuchung von Prof. Galle gezeigt, dass die Elemente der Meteorbahn mit bemerkenswerther Annäherung mit der Bahn des Kometen übereinstimme: die Beobachtungen des Sternschnuppenphänomens vom 20. April sind aber noch nicht zahlreich genug, um zu beurtheilen, ob die in den beiden Bahnen gefundenen Unterschiede wirkliche seien, oder ob man sie aus Beobachtungsfehlern erklären könne. Dasselbe kann man von den Sternschnuppen des 28. Novembers und der ersten Tage des Decembers sagen, welche nach d'Arrest und Weiss mit dem Biela'schen Kometen zusammenhängen können. Auf den diesen Kometen begleitenden Sternschnuppenstrom könnte man auch, ebenfalls nach d'Arrest's Vermuthung, einige Fälle von Meteorsteinen beziehen, welche in den ersten Tagen des Decembers sich ereignet

<sup>79)</sup> Compt. Rend. de l'Ac. d. sc. de Paris, vol. LXIV p. 651.

<sup>80)</sup> „Since the periodic time is limited to five possible values, each capable of an accurate determination, and since therefore from the position of the radiant the inclination of the orbit can be found, it seems possible to compute the secular motion of the node for each periodic time with considerable accuracy. Since now the actual motion of the node is known, we have thus an apparently simple method of deciding which of the five periods is the correct one.“ (Amer. Journ. of science July 1864). —



haben. Nach Prof. Weiss ist es nicht unwahrscheinlich, dass auch der erste Komet von 1818 sich in einer, von der Bahn des Biela'schen wenig abweichenden, Bahn und vielleicht zusammen mit dem von diesem hervorgebrachten Sternschnuppenschwarme bewegt. —

Ich darf auch nicht verschweigen, dass Prof. Newton die sehr wahrscheinliche Vermuthung ausgesprochen hat, dass zwei in China im Herbst 1366, einige Tage nach dem grossen Sternschnuppenregen dieses Jahres, beobachtete Kometen einen Theil des Novembersystemes bilden und dessen Bahn verfolgen. So würde man mehrere Kometen haben, welche mit den Sternschnuppenhaufen dieselbe Bahn beschreiben, und hierin einen der Theilung des Biela'schen Kometen analogen Fall<sup>81)</sup>. —

Ausser diesen Beispielen von constatirter oder wahrscheinlicher Identität hat man Anzeichen von möglichen Beziehungen zwischen anderen Kometen und correspondirenden Sternschnuppenschauern: aber man kann erst dann genügende Resultate erhalten, wenn man die Beobachtungen der Sternschnuppen mit noch grösserem Ernste und Eifer betreiben wird, als bis jetzt geschehen ist. Wir bemerken bei dieser Gelegenheit, dass man bei diesen Vergleichen mit der grössten Vorsicht verfahren muss: denn, wenn die Zahl der bekannten Kometen schon gross ist, so ist die Zahl der die Erdbahn durchschneidenden Meteorströme noch viel grösser: deshalb kann eine angenäherte Coincidenz einer Kometen- und einer Sternschnuppen-Bahn so manches Mal auch zufällig hervorgebracht sein, besonders wenn man den in der That noch unentwickelten Zustand erwägt, in welchem sich unsere Kenntnisse über die meisten Sternschnuppenschauer befinden. —

42. Durch alle diese Forschungen erkannte man sehr bald, dass die Sternschnuppen und Kometen einen innigeren Zusammenhang haben, als man anfänglich vermuthete. — Nicht nur gelangen die einen sowohl wie die anderen aus den ausserplanetarischen Räumen zu uns: sondern diese Anhäufungen von äusserst dünner Materie, deren Existenz Le Verrier und ich annahmen (und damals konnte man nichts Anderes thun), um daraus eben so viele Sternschnuppenströme zu bilden, haben sich auch in mehreren Fällen als nichts Anderes erwiesen, als schon zuvor gut beobachtete und berechnete Kometen; diese haben unter der auflösenden Kraft irgend eines Körpers unseres Sonnensystems längs ihrer Bahn die leichteren und mit dem Mittelpunkte weniger zusammenhängenden Theile verloren und zurückgelassen. Die Erscheinung der Theilung und der Ver-

---

<sup>81)</sup> Americ. Journal of Sc. Vol. XLV. Jan. 1868.



vielfältigung der Kometen wird hierdurch erklärt; ebenso erscheint das Verschwinden des Biela'schen Kometen weniger räthselhaft; und wenn man ihn wirklich auch in Zukunft nicht wieder erblicken wird, so werden die Astronomen schon dahin gelangen zu wissen, was aus ihm geworden ist. Mehrere Fragen über die Natur des Zusammenhanges zwischen beiden Arten von Himmelskörpern und über ihren Ursprung werden alsdann auftauchen. Welche Umstände können einen Kometen dahin bringen, einen Sternschnuppenstrom zu erzeugen? Entstehen die Sternschnuppen nur durch die Auflösung von Kometen, oder können sie in das Sonnensystem auf verschiedenen Wegen eingeführt werden? Müssen wir jeden Kometen als einen Sternschnuppenhaufen betrachten? In welchen Beziehungen können die Kometenschweife und das Zodiakallicht zu diesen Körperchen stehen? Ist der Zusammenhang zwischen den Sternschnuppen und Kometen nothwendig, oder nur zufällig? Existiren Sternschnuppenströme ohne Kometen, und kann man sich einen Kometen ohne Begleitung von Sternschnuppen vorstellen? Sind die Sternschnuppenströme ausschliesslich aus getrennten Theilchen gebildet, oder enthalten sie auch Elemente von zusammenhängenden Körpern? Sind sie ewig und unzerstörbar? Welchen Einfluss kann die Anziehung der Planeten, denen sie nahe kommen, auf sie ausüben? Können Sternschnuppenströme auf die Sonne fallen? Wird es möglich sein, die Sternschnuppen, Feuerkugeln und Meteorsteine auf dieselben Gesetze zurückzuführen?

Die Discussion aller dieser interessanten Fragen würde für jetzt noch ein vergebliches Unternehmen sein: viele von ihnen können ihre Lösung erst durch lange und fleissig fortgesetzte Beobachtungen erhalten, für andere kann man eine genügende Antwort erst in der Zukunft erwarten. Gleichwohl ist es jetzt schon möglich, über einige dieser Fragen irgend welches Licht zu verbreiten und in mehreren Fällen die Unbestimmtheit der Auflösung zu beschränken. Diese gerade wollen wir in dieser Schrift, je nachdem sich Gelegenheit dazu bietet, näher besprechen. —

---



## Capitel III.

### Die Vertheilung der Sternschnuppenbahnen im Raume.

#### 43. Gleichförmigkeit der absoluten Geschwindigkeiten.

Wenn auch früher noch irgend welcher Zweifel über die fast vollkommene Gleichförmigkeit der absoluten Geschwindigkeiten existiren konnte, mit welcher die Sternschnuppen den der Erde benachbarten Raum durchlaufen, so ist jetzt dieser Zweifel verschwunden. Wir können mit vollem Vertrauen den Schluss ziehen, dass man diese Geschwindigkeit in jedem Falle als sehr nahezu gleich der parabolischen setzen kann. Man kann hier in der That die für die Kometen gültigen Schlüsse auf die Sternschnuppen ausdehnen. Setzt man die halbe grosse Axe der Erdbahn  $= 1$ , so kann man den Radiusvector der Erde unter der Form  $r = 1 + \omega$  ausdrücken, wobei  $\omega$  eine kleine variable Grösse ist, die  $\frac{1}{60}$  nicht übersteigen kann. Nennt man  $U$  die mittlere Geschwindigkeit der Erde (d. h. die Geschwindigkeit, welche einer Kreisbahn vom Radius  $= 1$  entspricht), so wird die dem Radiusvector  $r$  entsprechende Geschwindigkeit durch die bekannte Formel

$$V = U \sqrt{\frac{2}{r} - 1} = U \sqrt{\frac{2}{1 + \omega} - 1}$$

ausgedrückt.

Wenn man die Quadrate von  $\omega$  vernachlässigt, hat man die einfache Formel

$$V = U (1 - \omega).$$

Für einen Kometen, dessen Bahn eine sehr grosse Halbaxe  $a$  hat, ist die dem Radiusvector  $r$  entsprechende Geschwindigkeit:



$$v = U \sqrt{\frac{2}{r} - \frac{1}{a}} = U \sqrt{2} \sqrt{\frac{1}{1+\omega} - \frac{1}{2a}};$$

diese Formel verwandelt sich, wenn man die Quadrate von  $\omega$  und von  $\frac{1}{2a}$  vernachlässigt, in:

$$v = U \sqrt{2} \left(1 - \frac{1}{2} \omega - \frac{1}{4a}\right).$$

Das Verhältniss der beiden Geschwindigkeiten, der des Kometen und der der Erde, ist demnach:

$$\frac{v}{V} = \sqrt{2} \left(1 + \frac{1}{2} \omega - \frac{1}{4a}\right).$$

Der Ausdruck  $\frac{1}{2} \omega$  kann dies Verhältniss nur um  $\frac{1}{120}$  verändern (d. h. entweder vergrössern oder verkleinern). Der Ausdruck  $\frac{1}{4a}$  ist nur für die Kometen und Sternschnuppen von sehr kurzer Periode von Einfluss und bemerklich. Er beträgt  $\frac{1}{14}$  für den Biela'schen Kometen und  $\frac{1}{41}$  für die November - Sternschnuppen. Für die grosse Gesammtheit dieser Körper aber kann der Ausdruck  $\frac{1}{4a}$  vernachlässigt werden; man kann also ohne grossen Fehler für alle Fälle setzen:  $\frac{v}{V} = \sqrt{2}$ . —

Was wir hier von den eigentlichen Sternschnuppen gesagt haben, ist aber für die Bolide und Aërolithe noch nicht mit Gewissheit gültig. Obgleich man nicht bezweifeln kann, dass alle diese drei Arten von Meteoren von dem Herabfallen himmlischer Materie in unsere Atmosphäre herrühren, so hat man doch noch keine zwingenden Argumente, um Diejenigen zu widerlegen, welche die Sternschnuppen von den Boliden und Aërolithen trennen zu müssen glauben, indem sie den Boliden und Aërolithen einen anderen Ursprung als den Sternschnuppen zuweisen. Ich werde in einem besonderen Capitel die Gründe, welche man in dieser Frage dafür und dagegen anführen kann, untersuchen, ebenso wie auch die Möglichkeit, dass irgend ein kosmisches Meteor das Sonnensystem mit hyperbolischer Geschwindigkeit durchstreift. Für



jetzt können wir unsere Deductionen auf diejenigen Meteore stützen, welche der Erde mit einer nahezu parabolischen Geschwindigkeit begegnen; diese bilden, wie man allen Grund zu glauben hat, bei weitem die grössere Zahl. —

#### 44. Richtung und Geschwindigkeit der relativen Bewegung der Meteore.

Es stelle (Fig. 10)  $TO$  in Grösse und Richtung die Bahngeschwindigkeit der Erde  $T$  vor, welche nach dem Apex  $P$  hin gerichtet ist. Es sei ferner  $CT$  die Geschwindigkeit und Richtung der absoluten Bewegung eines auf die Erde fallenden Meteoros  $C$ ; alsdann wird bekanntlich die Geschwindigkeit und Richtung der relativen Bewegung des Meteoros in Bezug auf die Erde in Grösse und Richtung durch die Diagonale  $ST$  des aus  $CT$  und  $TO$  construirten Parallelogrammes ausgedrückt. Wenn man statt eines einzigen Meteors einen Strom von Meteoren hat, welche parallele Bahnen mit gleicher Geschwindigkeit beschreiben, so wird der Beobachter auf der Erde das Herabfallen der Körperchen sich aufeinander folgen sehen, als ob der Strom die Richtung und Geschwindigkeit  $ST$  hätte; er wird also den Radiationspunkt längs der Gesichtslinie sehen, die von  $T$  nach  $S$  gerichtet ist. Der Winkel  $CTO$  ist die wahre Elongation des Radiationspunktes vom Apex  $P$ , während  $STO$  die scheinbare Elongation ist, d. h. diejenige, welche in Wirklichkeit beobachtet wird. Wir haben also hier fünf Elemente, nämlich die drei Geschwindigkeiten  $CT$ ,  $ST$ ,  $TO$  und die beiden Elongationen  $CTO$  und  $STO$ ; aus der Betrachtung des Dreiecks  $STO$  lassen sich leicht zwischen diesen fünf Elementen drei Beziehungen feststellen. Sind drei von diesen fünf Elementen gegeben, so lassen sich die beiden anderen leicht herleiten. —

In dem Falle, den wir als normal betrachten, nämlich in dem Falle der parabolischen Bewegung der Meteore, können die Grössen  $TO$  und  $CT$  als bekannt und constant betrachtet werden: alsdann bleibt nur eine einzige Beziehung zwischen den drei Grössen  $ST$ ,  $CTO$ ,  $STO$  zu betrachten übrig; von diesen braucht man nur eine zu kennen, um die beiden anderen zu erhalten. Da man sehr häufig diese Relation zu benutzen Gelegenheit hat, habe ich es für zweckmässig gehalten, folgende Tabelle zu berechnen, aus welcher man für jeden gegebenen Werth der scheinbaren Elongation  $STO$  auf einen Blick die entsprechende wahre Elongation  $CTO$  und die relative Geschwindigkeit  $ST$  finden kann. Die für diese letztere angenommene Einheit ist die mittlere Bahngeschwindigkeit der Erde, welche, wenn man  $8'',95$  als den



Werth der aequatorealen Parallaxe der Sonne annimmt, gleich 29261 Meter ist; der Logarithmus dieser Zahl ist 4,466289. Will man also den Werth der relativen Geschwindigkeit in Metern ausdrücken, so braucht man blos die Zahlen der dritten Spalte mit 29261 zu multipliciren. In der vierten Spalte der Tabelle ist die beschleunigte relative Geschwindigkeit gegeben, nämlich diejenige, welche durch die Einwirkung der Erdattraction in den letzten Augenblicken der kosmischen Existenz des Meteors vergrößert worden ist, oder die wirkliche Fallgeschwindigkeit des Meteors bei dem Eintritt in die Atmosphäre. Die Principien, welche der Berechnung dieser letzten Spalte zu Grunde gelegt sind, werde ich später erläutern. Auch diese beschleunigte Geschwindigkeit kann auf Meter reducirt werden, wenn man die Zahlenangaben mit 29261 multiplicirt.

**Tabelle I.**

| Scheinbare<br>Elongation<br>vom Apex. | Wahre<br>Elongation<br>vom Apex. | Relative<br>kosmische<br>Geschwindigkeit. | Beschleunigte<br>Fallgeschwindig-<br>keit. |
|---------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 0°                                    | 0°. 0'                           | 2, 414                                    | 2, 444                                     |
| 6                                     | 10. 14                           | 2, 405                                    | 2, 435                                     |
| 12                                    | 20. 27                           | 2, 377                                    | 2, 407                                     |
| 18                                    | 30. 37                           | 2, 331                                    | 2, 362                                     |
| 24                                    | 40. 43                           | 2, 268                                    | 2, 300                                     |
| 30                                    | 50. 42                           | 2, 189                                    | 2, 222                                     |
| 36                                    | 60. 34                           | 2, 095                                    | 2, 130                                     |
| 42                                    | 70. 14                           | 1, 989                                    | 2, 025                                     |
| 48                                    | 79. 42                           | 1, 872                                    | 1, 911                                     |
| 54                                    | 88. 54                           | 1, 748                                    | 1, 789                                     |
| 60                                    | 97. 46                           | 1, 618                                    | 1, 662                                     |
| 66                                    | 106. 14                          | 1, 486                                    | 1, 534                                     |
| 72                                    | 114. 16                          | 1, 356                                    | 1, 408                                     |
| 78                                    | 121. 46                          | 1, 229                                    | 1, 287                                     |
| 84                                    | 128. 41                          | 1, 110                                    | 1, 174                                     |
| 90                                    | 135. 0                           | 1, 000                                    | 1, 070                                     |
| 96                                    | 140. 41                          | 0, 901                                    | 0, 978                                     |
| 102                                   | 145. 46                          | 0, 813                                    | 0, 899                                     |
| 108                                   | 150. 16                          | 0, 738                                    | 0, 831                                     |
| 114                                   | 154. 14                          | 0, 673                                    | 0, 774                                     |
| 120                                   | 157. 46                          | 0, 618                                    | 0, 726                                     |
| 126                                   | 160. 54                          | 0, 572                                    | 0, 688                                     |
| 132                                   | 163. 42                          | 0, 534                                    | 0, 656                                     |
| 138                                   | 166. 14                          | 0, 503                                    | 0, 631                                     |
| 144                                   | 168. 34                          | 0, 477                                    | 0, 611                                     |
| 150                                   | 170. 42                          | 0, 457                                    | 0, 595                                     |
| 156                                   | 172. 43                          | 0, 441                                    | 0, 583                                     |
| 162                                   | 174. 37                          | 0, 429                                    | 0, 574                                     |
| 168                                   | 176. 27                          | 0, 421                                    | 0, 568                                     |
| 174                                   | 178. 14                          | 0, 416                                    | 0, 564                                     |
| 180                                   | 180. 0                           | 0, 414                                    | 0, 563                                     |



Man sieht, dass die relative Geschwindigkeit der kosmischen Bewegung der Meteore, welche der Erde begegnen, zwischen 2, 414 und 0, 414, oder genauer zwischen  $\sqrt{2} + 1$  und  $\sqrt{2} - 1$  variirt; diese äussersten Grenzen in Metern ausgedrückt sind 70642 und 12120 Meter; die grösste relative Geschwindigkeit verhält sich zur kleinsten wie 5, 82 : 1.

45. Bei Betrachtung der vorhergehenden Tabelle erkennt man, dass in allen Fällen die scheinbare Elongation des Apex immer kleiner als die wahre ist; daher besteht die Einwirkung der Bewegung der Erde auf die Position der Radiationspunkte wesentlich darin, diese dem Apex um eine gewisse Grösse näher zu bringen. Für die dem Apex sehr nahe gelegenen Radiationspunkte ist das Verhältniss der Annäherung an den Apex sehr beträchtlich; die wahre Elongation verhält sich alsdann zur scheinbaren wie  $\sqrt{2} + 1$  zu  $\sqrt{2} - 1$  oder angenähert wie 171 : 100. Umgekehrt werden alle Radiationspunkte von dem dem Apex entgegengesetzten Punkte, den wir den Anti-Apex nennen können, weiter entfernt: für die diesem Punkte sehr nahen Radiationspunkte verhält sich die wahre Entfernung vom Anti-Apex zur scheinbaren wie  $\sqrt{2} - 1$  zu  $\sqrt{2}$ , oder nahezu wie 29 zu 100. Die beobachteten Radiationspunkte müssen sich also in dem Theile des Himmels bei dem Apex sehr dicht zusammengedrängt finden, und sehr zerstreut in dem entgegengesetzten, daher muss auch ihre scheinbare Vertheilung am Himmelsgewölbe von der wahren sehr verschieden sein. —

Um diese Einwirkung besser verstehen zu können, wollen wir uns vorstellen, dass eine grosse Anzahl von Radiationspunkten gleichzeitig in Thätigkeit sei, also dass die Erde von einer grossen Zahl von Sternschnuppenströmen getroffen würde in Richtungen, die im Raume um die Erde gleichmässig vertheilt sind. Wäre die Erde unbeweglich, so würde der Beobachter alle Radiationspunkte in gleichmässiger Menge auf der Himmelskugel vertheilt sehen. Man kann alsdann annehmen, dass die Erde in dem Mittelpunkte einer Kugeloberfläche sei, deren Radius gleich der gemeinsamen absoluten Geschwindigkeit aller Meteore ist (die wir mit  $v$  bezeichnen wollen); von allen Punkten dieser Oberfläche werden die meteorischen Geschosse in der Zeiteinheit in einer gewissen Menge nach dem Beschauer hin geschleudert. Es sei ASS' (Fig. 11) diese Kugel, O ihr Centrum, OS =  $v$ . Giebt man nun dem Beobachter irgend eine Bewegung in der Richtung OD und mit der Geschwindigkeit V, so werden die Erscheinungen von der relativen Bewegung der nach



O mit der Geschwindigkeit  $v$  fallenden Sternschnuppen und von der Bewegung des Beobachters, der in O mit der Geschwindigkeit  $V$  ankommt, abhängen. Wir wollen nun annehmen, dass der Beobachter unbeweglich sei, und den Sternschnuppen eine Geschwindigkeit gleich aber entgegengesetzt der von  $V$  zuschreiben. Alsdann wird die Sternschnuppe S, welche nach O mit der Geschwindigkeit  $OS = v$  hätte fallen müssen, in der Richtung SB herabfallen, zusammengesetzt aus  $OS = v$  und  $SC = V$ , wobei  $V$  in der entgegengesetzten Richtung zu nehmen ist, als die, in welcher sich der Beobachter bewegt. Weil nun offenbar  $OB = SC = V$  ist, so wird der Punkt B immer derselbe bleiben, wie auch die Lage von S auf der sphärischen Oberfläche sein mag. Daher wird die Sternschnuppe S' in der Richtung S'B fallen und so auch alle anderen. Wenn der Beobachter sich in B befindet, so kann man das Gesetz, nach welchem die Sternschnuppen ihn treffen werden, der Art ausdrücken, dass von allen Theilen der Kugeloberfläche, und zwar in einer den Flächenräumen dieser Theile proportionalen Menge, Sternschnuppen nicht nach O, sondern nach B in den Richtungen SB, S'B etc. fallen. Hieraus erhellt, dass der Sternschnuppenschauer (oder die Menge der scheinbaren Radiationspunkte) die grösste Dichtigkeit in der Richtung BD haben wird, nämlich in der des Apex, gegen welchen hin der Beobachter sich bewegt; die kleinste BA in der dem Apex entgegengesetzten Richtung. Auch kann man leicht erkennen, dass die beiden Dichtigkeiten, die grösste und die kleinste, sich zu einander verhalten wie die Quadrate der Linien BD und BA, also wie  $(v+V)^2 : (v-V)^2$ . In Wirklichkeit ist nun sehr nahezu  $v = V\sqrt{2}$ ; deshalb verhält sich die scheinbare Dichte der dem Apex am nächsten liegenden Radiationspunkte zu der dem entgegengesetzten Punkte am meisten benachbarten fast genau wie 35 : 1. Die geraden Linien SB, S'B etc. drücken alsdann die relativen Geschwindigkeiten aus, mit welchen die von S, S' etc. herkommenden Meteorschauer den Beobachter treffen. —

Man kann auch leicht das Gesetz auffinden, nach welchem die scheinbare Dichtigkeit der Radiationspunkte in den verschiedenen Gegenden der Himmelskugel variirt. Stellt man sich nämlich rings um den Punkt S auf der Kugeloberfläche einen sehr kleinen Raum vor, ferner von dem Punkte O nach allen Punkten des Umfanges dieses Raumes unendlich viele Gesichtslinien gezogen, so erhält man einen sehr schmalen Kegel, dessen Spitze in O liegt und dessen Winkelgrösse durch die Fläche des oben erwähnten Raumes gemessen werden kann. Wenn wir nun von B ausgehend ebenfalls unendlich viele solcher Gesichtslinien ziehen, die den-



selben Raum umschliessen, wie die von O ausgehenden, so erhalten wir einen zweiten Kegel mit dem Scheitel in B; die Winkelgrössen beider Kegel werden sich, wie man leicht sieht, zu einander verhalten wie  $\frac{\cos. O S B}{\overline{BS}^2} : \frac{1}{\overline{OS}^2}$  oder wie

$\overline{OS}^2 \cos. OSB : \overline{BS}^2$ . Weil man nun sowohl von O als von B aus in dem angegebenen kleinen Raume dieselbe Anzahl von Radiationspunkten sieht, so werden die scheinbaren Dichtigkeiten der von O und B aus gesehenen Radiationspunkte sich umgekehrt verhalten wie die Winkelgrössen, unter denen man den kleinen Raum sieht. Weil die von O aus gesehene Dichtigkeit die wahre ist, so verhält sich die scheinbare Dichtigkeit zur wahren wie  $\overline{BS}^2 : \overline{OS}^2 \cos. OSB$ . Hieraus schliesst man, dass die scheinbare Dichtigkeit der Radiationspunkte zu der wahren, in den von dem Apex D gleich weit entfernten Punkten, dasselbe Verhältniss hat. Man kann aus der folgenden Tabelle das Gesetz erkennen, nach welchem diese Dichtigkeit von dem Apex D bis zu dem entgegengesetzten Punkte A abnimmt.

Tabelle II.

| Scheinbare Elongation vom Apex. DBS. | Winkel OSB. | Scheinbare Dichtigkeit (wahre = 1). | Scheinbare Elongation vom Apex. DBS. | Winkel OSB. | Scheinbare Dichtigkeit (wahre = 1). |
|--------------------------------------|-------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------|-------------------------------------|
| 0°                                   | 0° 1'       | 2,987                               | 90                                   | 45° 0'      | 0,707                               |
| 6                                    | 4. 14       | 2,900                               | 96                                   | 44. 41      | 0,571                               |
| 12                                   | 8. 27       | 2,856                               | 102                                  | 43. 46      | 0,458                               |
| 18                                   | 12. 37      | 2,784                               | 108                                  | 42. 16      | 0,368                               |
| 24                                   | 16. 43      | 2,685                               | 114                                  | 40. 14      | 0,296                               |
| 30                                   | 20. 42      | 2,561                               | 120                                  | 37. 46      | 0,241                               |
| 36                                   | 24. 34      | 2,413                               | 126                                  | 34. 54      | 0,200                               |
| 42                                   | 28. 14      | 2,245                               | 132                                  | 31. 42      | 0,167                               |
| 48                                   | 31. 42      | 2,060                               | 138                                  | 28. 14      | 0,143                               |
| 54                                   | 34. 54      | 1,862                               | 144                                  | 24. 34      | 0,125                               |
| 60                                   | 37. 46      | 1,656                               | 150                                  | 20. 42      | 0,111                               |
| 66                                   | 40. 14      | 1,448                               | 156                                  | 16. 43      | 0,101                               |
| 72                                   | 42. 16      | 1,241                               | 162                                  | 12. 37      | 0,094                               |
| 78                                   | 43. 46      | 1,046                               | 168                                  | 8. 27       | 0,089                               |
| 84                                   | 44. 41      | 0,867                               | 174                                  | 4. 14       | 0,087                               |
| 90                                   | 45. 0       | 0,707                               | 180                                  | 0. 0        | 0,086                               |

Aus diesen Zahlen ersieht man, wie verschieden im Allgemeinen in den dem Apex am nächsten oder von ihm entferntesten befindlichen Gegenden des Himmels die scheinbare Dichtigkeit von der wahren ist. Bei der von allen einfachsten



Annahme, dass die wahre Dichtigkeit der Radiationspunkte nach allen Richtungen hin gleich sei, wird die scheinbare Dichtigkeit ein Maximum bei dem Apex haben, wo sie fast dreimal grösser ist, als die wahre, und ein Minimum bei dem entgegengesetzten Punkte, wo sie fast zwölfmal kleiner ist als die wahre. Diese Ungleichheit wird noch für ziemlich beträchtliche Entfernungen vom Apex und vom Anti-Apex nicht viel geringer. Hieraus folgt, dass, wenn man durch einen grössten Kreis, dessen Pole der Apex und der Anti-Apex sind, den ganzen Himmel in zwei Halbkugeln theilt, diejenige Halbkugel, in welcher sich der Apex befindet, 5,82 mal mehr scheinbare Radiationspunkte enthält, als die entgegengesetzte Halbkugel, wie man leicht berechnen kann. Beschreibt man nun um den Apex als Pol einen kleineren Kreis, dessen Punkte vom Apex  $54^{\circ} 44'$  entfernt sind, so wird der von diesem kleineren Kreise eingeschlossene Theil der Kugeloberfläche, wenn er auch nur 0,2113 der ganzen Kugelfläche beträgt, in seinem Innern gerade die Hälfte aller scheinbaren Radiationspunkte enthalten. —

Eine wichtige Folge dieser Thatsache ist die, dass die Zahl der einem Beobachter zugleich sichtbaren Radiationspunkte sehr verschieden ist, je nachdem der Apex sich über oder unter dem Horizonte befindet; im Allgemeinen wird die Menge der sichtbaren Radiationspunkte von der scheinbaren Höhe des Apex über dem Horizonte abhängen. Um die Art und Weise dieser Abhängigkeit zu begreifen, stellen wir uns unter GF (Fig. 11) den Horizont des Beobachters vor, welcher sein Gesichtsfeld begrenzt; der Winkel DBF oder  $\varphi$  sei die scheinbare Höhe des Apex. Offenbar werden nur diejenigen Sternschnuppen sichtbar bleiben, welche aus dem Theile GHF der Kugel herkommen; daher wird sich die Anzahl der sichtbaren Radiationspunkte zur Gesamtzahl aller verhalten, wie die Oberfläche des Segmentes GHF zur ganzen Kugelfläche, oder wie HE zum ganzen Durchmesser. Nun ist dieser  $= 2v$  und  $HE = OH + OE = v + V \sin. \varphi$ . Deshalb wird die Zahl der über dem Horizonte GF sichtbaren Radiationspunkte proportional sein dem Ausdrücke  $\frac{v + V \sin. \varphi}{2v}$ .

Nennt man diese Anzahl F und nimmt man als Einheit die Anzahl der in der Hälfte der Kugelfläche enthaltenen Radiationspunkte, so hat man einfach

$$F = 1 + \frac{V}{v} \sin. \varphi.$$

Diese Formel zeigt uns, nach welchem Verhältniss die Zahl der sichtbaren Radiationspunkte mit der Zunahme der



Höhe des Apex über dem Horizonte zunimmt. Durch Vergleichung der beiden extremen Werthe, welche eintreten, wenn der Apex im Zenith oder wenn er im Nadir ist, erhält man das Verhältniss der grössten Anzahl der an irgend einem Orte zu irgend einem Augenblicke sichtbaren Radiationspunkte zu der kleinsten Anzahl durch den Ausdruck  $\frac{V + v}{V - v}$

Für den Fall, dass  $v = V/2$  ist, wird dies Verhältniss das schon oben erwähnte von 5,82 : 1. Die folgende Tabelle giebt den gewissen Werthen von  $\varphi$  entsprechenden Werth von F.

Tabelle III.

| H ö h e<br>des Apex über dem<br>Horizont. | Anzahl der<br>Radiations-<br>punkte. | T i e f e<br>des Apex unter dem<br>Horizont. | Anzahl der<br>Radiations-<br>punkte. |
|-------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|
| $\varphi = + 0^0$                         | F = 1,000                            | $\varphi = - 0^0$                            | F = 1,000                            |
| 10                                        | 1,123                                | 10                                           | 0,877                                |
| 20                                        | 1,242                                | 20                                           | 0,758                                |
| 30                                        | 1,354                                | 30                                           | 0,646                                |
| 40                                        | 1,455                                | 40                                           | 0,545                                |
| 50                                        | 1,542                                | 50                                           | 0,458                                |
| 60                                        | 1,613                                | 60                                           | 0,387                                |
| 70                                        | 1,665                                | 70                                           | 0,335                                |
| 80                                        | 1,697                                | 80                                           | 0,303                                |
| 90                                        | 1,707                                | 90                                           | 0,293                                |

Da der Apex sich stets auf der Ekliptik befindet, ungefähr 90 Grad von der Sonne nach Westen abstehend, so findet seine obere Culmination stets gegen 6 Uhr Morgens und die untere gegen 6 Uhr Abends statt. Man wird also im Allgemeinen in den Morgenstunden mehr Radiationspunkte über dem Horizonte sehen, als in den Abendstunden. Die Beobachter der Sternschnuppen können nicht umhin, diesem Umstande grosse Wichtigkeit beizulegen. Allerdings erreicht in unseren Klimaten der gemässigten Zone der Apex niemals das Zenith oder das Nadir, und seine grösste Höhe oder Depression kann für die Breite von  $45^0$  nicht  $68\frac{1}{2}$  Grad übertreffen; auch werden die Beobachtungen der Sternschnuppen, selbst wenn diese Grenze erreicht ist, durch die Dämmerung sehr verhindert; dennoch ersieht man aus der vorhergehenden Tabelle und aus einer Untersuchung des Einflusses der Dämmerung, dass das Verhältniss zwischen der grössten und kleinsten Häufigkeit leicht das der Zahlen 4 zu 1 erreichen kann. Uebrigens muss man



bei der praktischen Anwendung des Resultates dieser Untersuchung den Einfluss nicht vergessen, welchen die Anziehung der Erde und die nicht vollkommene Durchsichtigkeit der Atmosphäre auf die Sichtbarkeit der meteorischen Radiationen ausüben; diesen Einfluss werde ich später besprechen. Man muss ferner erwägen, dass alle diese Schlussfolgerungen nur dann von Kraft sind, wenn man annimmt, dass die wahre Dichte der Radiationspunkte für alle Gegenden der Himmelskugel dieselbe ist, oder mit anderen Worten, dass die Meteorströme auf die Erde von allen Richtungen des Himmels mit gleicher Häufigkeit herabstürzen. —

46. Auf dieselbe Weise, wie man aus der wahren Dichte die scheinbare Dichte der Radiationspunkte für jede gegebene Richtung herleiten kann, können wir auch das umgekehrte Problem lösen und aus der gegebenen scheinbaren oder beobachteten Dichte der Radiationspunkte die wahre Dichtigkeit abzuleiten suchen, d. i. die Menge der Ströme, welche in einem gegebenen Augenblicke von einer gegebenen Richtung des Raumes aus auf uns herabregnen. Wenn wir eine vollständige Bestimmung aller Radiationspunkte der Sternschnuppen besässen, so würden wir also möglicher Weise das Gesetz bestimmen können, nach welchem die Richtungen der Meteorströme vertheilt sind. Unglücklicherweise aber sind wir noch sehr weit davon entfernt, uns der genauen Kenntniss aller Meteorschauer, welche in allen Nächten des Jahres sich zeigen, rühmen zu können; daher ist es noch nicht möglich, die Frage mit aller der Vollständigkeit und Allgemeinheit zu behandeln, deren sie fähig sein dürfte. —

Wenn man gleichwohl mit dem kleinen Beobachtungsmaterial, worüber man disponiren kann, einen Versuch machen wollte, so müsste man sich vor Allem auf die nördliche Halbkugel des Himmels beschränken: denn die südliche Halbkugel kann, ungeachtet der Bemühungen von Neumayer und von Heis, in dieser Beziehung noch fast als eine *terra incognita* betrachtet werden, von welcher man nur den dem Himmelsäquator nächstgelegenen Saum ausnehmen kann. Aber auch für die nördliche Halbkugel entsteht eine grosse Schwierigkeit daraus, dass die beiden Kataloge, welche allein auf irgend welchen Vorzug der Vollständigkeit und Gleichförmigkeit Anspruch machen können (nämlich die Kataloge von Heis und von Greg) hauptsächlich auf Beobachtungen sich stützen, die des Abends gemacht sind, also zu einer Zeit, wo der Apex sehr nahe seiner unteren Conjunction ist und der diesem entgegengesetzte Punkt hingegen hoch über dem Horizonte sich befindet. Hieraus folgt, dass die dem Apex fast entgegengesetzten Radiationspunkte besser unter-



sucht worden sind, als die dem Apex benachbarten, von denen der grössere Theil noch unbekannt ist. Hierdurch erklärt es sich auch, dass, wenn man z. B. die Radiationspunkte von Greg nach ihrer Entfernung vom Apex anordnet, man um diesen Punkt herum nicht jene grosse Anhäufung von Radian-ten findet, welche aus der Betrachtung der zweiten Tabelle hervorgehen zu müssen scheinen dürfte<sup>82)</sup>. —

Eine andere Schwierigkeit besteht darin, dass die gleichzeitig in Wirksamkeit tretenden Radiationspunkte nie zahlreich genug sind, um über die Dichtigkeit urtheilen zu können, mit welcher sie über die verschiedenen Theile des Himmels vertheilt sind. Diesem Uebelstande kann man aber abhelfen, indem man alle Nächte des Jahres zu Hülfe nimmt und auf einer und derselben Kugel alle Radiationspunkte des Jahres, bezogen auf einen und denselben Apex, verzeichnet und diesen Apex als festen Punkt auf der Ekliptik betrachtet. Dieses Verfahren setzt voraus, dass die Meteorströme, in ihrer Gesammtheit betrachtet, in gleicher Weise über die verschiedenen Gegenden der Ekliptik vertheilt sind und dass ihre Gesammtheit in Bezug auf eine Axe, welche durch die Sonne senkrecht zur Ebene der Erdbahn geht, symmetrisch sei: dies scheint der Wahrheit nahe genug zu sein und ist auch hinreichend genau für die Kometen bestätigt.

47. Die zu Bergamo von Herrn Zezioli auf meine Veranlassung in den Jahren 1867, 1868, 1869 angestellten Beobachtungen von Sternschnuppenbahnen haben vor anderen den Vorzug, mit einer gewissen Gleichförmigkeit in den verschiedenen Jahreszeiten und in den verschiedenen Stunden der Nacht vertheilt zu sein<sup>83)</sup>. Die Resultate derselben können

<sup>82)</sup> S. Note e Riflessioni intorno alla Teoria astronomica delle stelle cadenti §. 46.

<sup>83)</sup> Die in den „Effemeridi astronomiche di Milano“ in den Jahren 1868, 1869, 1870 veröffentlichten Beobachtungen von Zezioli umfassen 6878 Sternschnuppenbahnen, die sich auf die verschiedenen Monate folgendermassen vertheilen:

|         |     |                |           |      |                |
|---------|-----|----------------|-----------|------|----------------|
| Januar  | 951 | Sternschnuppen | Juli      | 1341 | Sternschnuppen |
| Februar | 669 | „              | August    | 699  | „              |
| März    | 315 | „              | September | 323  | „              |
| April   | 686 | „              | October   | 441  | „              |
| Mai     | 373 | „              | November  | 422  | „              |
| Juni    | 317 | „              | December  | 341  | „              |

Die Monate Januar und Juli sind reicher an Sternschnuppen als die anderen Monate, dies rührt zum Theil von den schönen und zahlreichen Sternschnuppenschauern in diesen Monaten her. Die Vertheilung der in den verschiedenen Stunden der Nacht beobachteten Sternschnuppen ist folgende:



trotzdem doch nur von fragmentarischer Natur sein; es ist zuvörderst einem einzelnen Beobachter, der noch dazu häufig durch Mondschein und schlechtes Wetter gehindert ist, unmöglich alle unter einer gegebenen Breite sichtbaren Sternschnuppenerscheinungen in ihrer Vollständigkeit zu erfassen; ferner zeigen die meteorischen Radiationen ihre Wirksamkeit gewöhnlich nicht mit genügender Stärke, wenn der Radiant eine geringe Höhe über dem Horizonte hat; daher kommt es auch, dass von den fast 200 Radiationspunkten, die ich aus den Beobachtungen von Zezioli abgeleitet habe, der grössere Theil zwischen dem Nordpol und dem Kreise von  $+20^{\circ}$  Declination enthalten ist. Die Aequatorealzone ist, wegen des von Zezioli unveränderlich festgehaltenen Gebrauches, in der Nähe des Zenith zu beobachten, fast ganz ausgeschlossen. —

Bei der Bestimmung dieser Radiationspunkte ist die Combination der Beobachtungen, welche mehr als einen Tag auseinander liegen, vermieden worden; ich habe es auch nicht als erlaubt gehalten, die wirksame Thätigkeit eines Radiationspunktes in einer gegebenen Nacht als positiv sicher zu betrachten, sondern nur dann, wenn die Beobachtungen in dieser selben Nacht genügten, um wenigstens annähernd die Position des Radianten unabhängig von den Beobachtungen anderer Nächte zu bestimmen. Es ist klar, dass auf diese Weise diejenigen ärmeren Radiationspunkte vernachlässigt werden, für welche man in einer Nacht keine genügenden Beobachtungen hat, um aus diesen ihre Existenz und Position mit irgend welcher Genauigkeit zu bestimmen. Aber als Ersatz dafür wird auch die Gefahr geringer, ein gegebenes Meteor einem falschen Radianten zuzuschreiben, oder mehrere Sternschnuppenschauer von verschiedener Epoche, welche zufällig sehr benachbarte Radianten besitzen, in einen einzigen zu verschmelzen. Das Phaenomen der Sternschnuppen ist von einem solchen Reichthum und einer solchen Mannigfaltigkeit, dass man

---

| von | 5h.—6h. | 2   | Sternschn. | von | 12h.—13h. | 543 | Sternschn. |
|-----|---------|-----|------------|-----|-----------|-----|------------|
|     | 6 — 7   | 117 | "          |     | 13 — 14   | 677 | "          |
|     | 7 — 8   | 260 | "          |     | 14 — 15   | 842 | "          |
|     | 8 — 9   | 362 | "          |     | 15 — 16   | 689 | "          |
|     | 9 — 10  | 518 | "          |     | 16 — 17   | 708 | "          |
|     | 10 — 11 | 618 | "          |     | 17 — 18   | 687 | "          |
|     | 11 — 12 | 603 | "          |     | 18 — 19   | 207 | "          |

Bei dieser Aufzählung fehlen 45 Beobachtungen, bei denen man keine genaue Zeitangabe bestimmen konnte. Auch hier bemerkt man eine ziemliche Gleichförmigkeit; die grössere Menge in den Morgenstunden muss der bekannten, von Herrick und von Coulvier-Gravier entdeckten, Erscheinung der täglichen Variation zugeschrieben werden. Ueber diese werden wir später sprechen. —



seinen Mechanismus nicht klar darlegen kann, wenn man sich nicht einer sehr strengen Kritik befleissigt, welche dazu dient, so viel als möglich die Gefahr willkürlicher Combinationen auszuschliessen. —

Der Katalog von Radiationspunkten, welche man gegenwärtig mit Sicherheit oder mit bedeutender Wahrscheinlichkeit aus den Beobachtungen von Zezioli herleiten kann, ist in den fünf ersten Spalten der Tabelle IV. am Ende dieses Capitels enthalten. In der ersten Spalte dieser Tabelle ist die laufende Nummer gegeben; in der zweiten die mittlere Epoche jedes Meteorschauers; in der dritten die dieser Epoche entsprechende Länge des Apex; in der vierten und fünften die Rectascension und Declination jedes Radianten, bezogen auf das Aequinoctium von 1840; in der sechsten und siebenten die entsprechende Länge und Breite<sup>84)</sup>; in der achten endlich die Länge jedes Radiationspunktes vom Apex aus gerechnet, wobei dieser, und nicht das Aequinoctium, als fester Punkt betrachtet ist. Die Zahlenangaben der achten Spalte sind nichts Anderes als die Differenzen der Zahlen der sechsten und dritten Spalte. Die siebente und achte Spalte enthalten hiernach die Coordinaten der Radiationspunkte, bezogen auf die Ekliptik und den Apex, als Ursprung der Längen. —

48. Indem ich die Zahlen dieser beiden letzten Spalten als Coordinaten der Radiationspunkte nahm, habe ich auf der Planisphäre (Tafel I.) die nördlich von der Ekliptik befindlichen Radianten construirt. Der Mittelpunkt dieser Tafel ist der Nordpol der Ekliptik; auf dem äusseren Kreise, welcher die Ekliptik selbst darstellt, ist unten der Apex als Ursprung der Länge verzeichnet und oben der entgegengesetzte Punkt, oder Anti-Apex: in der Länge von  $+90^{\circ}$  nach links befindet sich die Sonne, deren Elongation vom Apex als constant und gleich einem rechten Winkel angesehen werden kann; in der Länge von  $-90^{\circ}$  nach rechts ist der entgegengesetzte Punkt von der Sonne oder Anthelion. Die bei dieser Tafel angewendete Projection ist die von Lorgna, welche, indem sie das Verhältniss der Flächen beibehält, wohl beurtheilen lässt, wo die Radianten sich am dichtesten oder am dünnsten vorfinden; dies kann man bei der stereographischen Projection nicht erlangen. Ein einfacher Blick auf diese Karte zeigt um die Sonne einen weiten leeren Raum, als Wirkung der Unmöglichkeit, die Radiationspunkte nahe bei der Sonne oder zu nahe der Dämmerung zu bestimmen. Zeichnet man

---

<sup>84)</sup> Für diese Coordinatenverwandlung habe ich mich eines doppelten Netzes in stereographischer Projection bedient, dessen Gebrauch mir für diesen Zweck hinreichend genau zu sein schien.



auf der Karte die Curve, welche den kleineren Kreis darstellt, dessen Punkte 70 Grade von der Sonne abstehen, so sieht man, dass innerhalb des Raumes oder Segmentes zwischen diesem Kreise und der Sonne nur ein einziger Radiationspunkt fällt, nämlich No. 118 des Katalogs, welcher am 28. Juli 1869 aus 7 Sternschnuppen bestimmt wurde, die in dem kurzen Zeitraume von einer halben Stunde von  $10\frac{1}{2}$  bis 11 Uhr unter ausnahmsweise günstigen Umständen erschienen, da die Dämmerung kaum beendet war und der Radiationspunkt sich mit der Sonne fast genau in einem und demselben Verticalkreise in der Höhe von ungefähr  $30^\circ$  über dem Horizonte befand, und von der Sonne ungefähr  $50^\circ$  entfernt war. Wenn wir die Distanz von  $60^\circ$  als mittlere Grenze der Sichtbarkeit der Radiationspunkte annehmen, so folgt hieraus, dass die Sonne zu jeder Zeit des Jahres den vierten Theil des Himmels dieser Art von Beobachtungen entzieht. —

Eine merkwürdige Folge dieser Thatsache will ich hier noch anführen. Es sei in der Figur 12 AED dieselbe Kugel, welche in Figur 11 angegeben worden ist, OB die Geschwindigkeit der Erde,  $OA = OB \sqrt{2}$  die der Sternschnuppen, deren Ströme, wie man annimmt, auf O zu von der Oberfläche der Kugel in allen Richtungen fallen, alsdann wird die relative Bewegung aller Sternschnuppen dargestellt werden durch den Fall derselben Ströme von der Kugeloberfläche nach B hin (§. 45): BD wird die Richtung des Apex bezeichnen; die Richtung des Radiusvectors der Erde wird BS sein, senkrecht (ganz oder nahezu) auf BD. Stellen wir uns vor, dass die Gerade BR, welche mit BS einen Winkel von  $60^\circ$  bildet, sich um diese dreht, indem sie einen Kegel RBN beschreibt. Dieser Kegel wird die Kugeloberfläche in einer bestimmten Curve RN schneiden, welche auf der Kugel einen ovalen Raum RSNK abschneiden wird. Es ist nun klar, dass alle Meteorströme, deren relative Bewegung in einer Richtung vor sich geht, welche innerhalb des Kegels RBN liegt, von der Dämmerung der Sonne verdeckt sein werden, wie ich kurz zuvor erwähnt habe. Wenn wir nun eine andere konische Fläche beschreiben, deren Scheitel O, und deren Directrix die Curve RN ist, so werden offenbar alle diejenigen Meteorströme von der Dämmerung verdeckt werden, deren absolute Bewegung nach einer Richtung stattfindet, die innerhalb des Kegels RON gelegen ist. Wenn wir nun annehmen, dass die Sternschnuppenströme im Raume gleichförmig um O vertheilt sind, so wird die Zahl der verdeckten Ströme sich zur Gesamtzahl der Ströme verhalten, wie die in dem Ovale RSNK enthaltene krumme Oberfläche zur Oberfläche der



ganzen Kugel. Theilt man aber diese Kugel durch die Ebene EF senkrecht zu DA in die beiden Halbkugeln EDF und EAF, so wird die erste die Richtungen der rückläufigen, die zweite die der rechtläufigen Ströme enthalten. Man sieht auch ferner, dass die Fläche des erwähnten Ovals zum überwiegend grösseren Theile auf die zweite Halbkugel fällt. Hieraus folgt der wichtige Satz: dass unter den uns durch die Sonnendämmerung verdeckten Sternschnuppenströmen die im Raume mit rechtläufiger Bewegung begabten an Zahl beträchtlich vorwiegen. Unter sonst gleichen Umständen wird also bei den sichtbaren Sternschnuppenschauern die Zahl der von rückläufigen Strömen hervorgebrachten vorwiegen müssen. —

Kehren wir nun zu unserer Karte der Radiationspunkte zurück; die dort dargestellte Halbkugel ist durch denjenigen Breitenkreis, welcher durch die Sonne geht und dessen Verlängerung auf den der Sonne entgegengesetzten Punkt trifft, in zwei Theile getheilt. Von diesen beiden Theilen, oder sphärischen Quadranten müsste, mit Bezugnahme auf die Schlussfolgerungen des §. 45, derjenige, welcher den Apex enthält, wenigstens fünf- oder sechsmal reicher an Radiationspunkten, als der andere Quadrant, sein. Wir bemerken ferner, dass auf jedem der beiden Quadranten die linke Hälfte wegen der Wirkung der Dämmerung fast leer ist: deshalb kann man nicht die beiden ganzen Quadranten, sondern nur ihre rechte Hälfte genauer mit einander vergleichen, also die beiden sphärischen Octanten zwischen der Ekliptik und den Breitenkreisen, welche durch den Apex, das Anthelion und den Antiapex gehen. Aber auch innerhalb dieser Grenzen kann die Vergleichung keine theoretische Wichtigkeit haben: man sieht in der That bei Betrachtung der Vertheilung der Radiationspunkte, dass die der Ekliptik näher gelegenen Gegenden fast leer sind und unter diesen sogar auch die Gegend um den Apex, welche man mehr, als irgend eine andere, von Radiationspunkten bevölkert halten müsste. Eine gewisse regelmässige Häufigkeit bemerkt man nur in dem Raume zwischen dem Nordpol, der Ekliptik und dem Parallelkreise (der Ekliptik) von  $40^{\circ}$  Breite: dies ist eine offenbare Folge der nördlichen Position des Beobachtungsortes (Bergamo), wegen deren man die Untersuchungen der Radiationspunkte auf die Gegenden zwischen dem Nordpol des Aequators und dem Parallelkreis von  $10^{\circ}$  nördl. Declination beschränken musste. Die Gegenden um den Apex und im Allgemeinen die Gegenden nahe bei der Ekliptik können nur von Beobachtern untersucht werden, die auf südlicheren Stationen, als Herr Zezioli, sich befinden.

Dieser Umstand wird uns nöthigen, die Vergleichung der Häufigkeit der Radiationspunkte auf die beiden Theile



der oben erwähnten sphärischen Octanten zu beschränken, die zwischen dem Nordpole der Ekliptik und dem Parallele von  $40^\circ$  nördlicher Breite liegen. Zählt man auf unserer Planisphäre die innerhalb dieser Grenzen enthaltenen Radiationspunkte, so findet man, dass in dem krummlinigen, von dem Parallel von  $40^\circ$  und den Breitenkreisen des Apex und des Anthelion gebildeten Dreiecke 73 Radiationspunkte sind; in dem gleichen Dreieck zwischen dem Parallel von  $40^\circ$  und den Breitenkreisen des Anthelion und des Anti-Apex sind nur 28, das Verhältniss beider Zahlen ist aber  $2,61 : 1$ . Wir können nun leicht berechnen, welches das Verhältniss dieser beiden Zahlen nach der Hypothese der gleichförmigen Vertheilung der Sternschnuppenströme im Raume um die Erde sein müsste. Hiezu wird es genügen, die Flächen der beiden angegebenen Räume in kleine Theile von bekannter Grösse zu theilen und mit Hülfe der Tabelle III. für jeden dieser kleinen Theile die Dichte der Radiationspunkte zu berechnen. Multiplicirt man jede Fläche der kleinen Theile mit der correspondirenden Dichte und addirt man diese Producte, so erhält man die theoretischen Ausdrücke des oben angegebenen Verhältnisses.

Indem ich diese Rechnung ausführte und dabei annahm, dass die Fläche der ganzen Halbkugel, ebenso die mittlere Dichtigkeit der Radiationspunkte  $= 1$  sei, fand ich, dass, während die Menge der Radianten auf der ganzen Halbkugel ebenfalls  $= 1$  ist, die Menge der Radianten in dem ersten der beiden oben erwähnten krummlinigen Dreiecke 0,1200 und die in dem zweiten Dreiecke 0,0343 beträgt. Das Verhältniss dieser beiden Zahlen ist  $3,50 : 1$ , dies weicht also bedeutend von dem Resultate der wirklichen Zählung ab, jedoch nicht so viel, als dass man diese Abweichung nicht aus der unvollkommenen Vertheilung der Beobachtungen, die zur Construction der Planisphäre auf Tafel I. gedient haben, und aus der zu kleinen Zahl der bei dieser Untersuchung angewendeten Radianten erklären könnte.

Wenn wir die gleichförmige Vertheilung der Sternschnuppenströme um die Erde als in der Natur bestätigt annehmen, so können wir durch die Zählung der in den beiden mehrfach erwähnten krummlinigen Dreiecken enthaltenen Radianten eine Vorstellung von der Zahl der Radianten erhalten, welche ähnliche Beobachtungen, wie die des Herrn Zezioli, aber am ganzen Himmel angestellt, hätten auffinden lassen, wenn diese Beobachtungen auch in südlicheren und nördlicheren Theilen der Erde ausgeführt worden wären und wenn die Sonne nicht die Sichtbarkeit einer grossen Zahl von Radiationspunkten verhinderte. Da aus der Berechnung der



theoretischen Dichte hervorgeht, dass in dem Dreiecke zwischen dem Parallel von  $40^{\circ}$  und den Breitenkreisen des Apex und des Anthelion, 0,1200 aller Radianten einer Hemisphäre, also 0,0600 aller Radianten der ganzen Kugel enthalten sein müssen, und da die effective Zählung in diesem Raume 73 Radianten ergeben hat, so können wir für die ganze Kugel die Anzahl aller Radianten gleich dem Ausdruck  $\frac{73}{0,0600}$  oder gleich der Zahl 1217 setzen. Diese

Zahl ist aber offenbar viel zu gering; denn die Beobachtungen von Zezioli sind weit davon entfernt, alle die Radiationspunkte erschöpft zu haben, welche man in dem erwähnten Raume aus den Beobachtungen einer Nacht bestimmen könnte. —

Eine analoge Berechnung kann man auf das andere krummlinige Dreieck zwischen dem Parallel von  $40^{\circ}$  und den Breitenkreisen des Anthelion und des Anti-Apex anwenden: hier müssen nach der Theorie 0,0171 aller Radianten der ganzen Kugel enthalten sein, die effective Zählung giebt aber 28, also erhält man für die ganze Kugel  $\frac{28}{0,0171} = 1644$

Radianten, eine noch grössere Zahl als die vorige, aber vielleicht weniger sicher, als die, welche auf eine zu kleine Menge der wirklich gezählten Radianten gestützt ist. —

Wie dem auch sei, die Folgerung bleibt sehr wahrscheinlich, wenn nicht sicher, nämlich dass die Zahl der meteorischen Radiationen, welche aus den Beobachtungen einer einzigen Nacht leicht zu bestimmen sind, für den ganzen Himmel die Zahl 1000 weit übersteigt. —

49. Aus den Elementen der scheinbaren Position der Radianten haben wir die Elemente der von den Meteorströmen um die Sonne nach der parabolischen Hypothese beschriebenen Bahnen hergeleitet und in der Tabelle IV. am Ende dieses Capitels registrirt. Diese Bahnen lassen sich auf folgende Weise sehr leicht und einfach construiren. Es stelle T (Fig. 13) die Erde im Mittelpunkt der scheinbaren Himmelskugel und der Ekliptik ASXY vor; die Richtung der jährlichen Bewegung der Sonne ist durch Pfeile auf der Figur angegeben. Mit A ist der Apex und mit S die Sonne bezeichnet, der Bogen AS weicht aber von  $90^{\circ}$  nie um mehr als einen Grad ab und kann für jeden Augenblick leicht berechnet werden<sup>85)</sup>.

<sup>85)</sup> Vernachlässigt man, wie es hier sicherlich gestattet ist, die Quadrate der Excentricität der Erdbahn, so kann man den Bogen AS mit genügen-



Es sei  $R$  die scheinbare Position eines Radianten, bezogen auf die Ekliptik und den Apex, wie in der siebenten und achten Spalte der Tabelle IV. Beschreibt man den grössten Kreis  $ARX$ , so wird  $AR$  die scheinbare Elongation des Radianten vom Apex sein, aus welcher man, wenn man die Geschwindigkeit der Erde und die entsprechende parabolische Geschwindigkeit der Meteore oder (was hier genügt) das Verhältniss dieser Geschwindigkeiten kennt<sup>86)</sup>, die wahre Elongation aus Betrachtung des Dreiecks der Geschwindigkeiten  $STO$  Fig. 10 §. 44 leicht ableiten kann. Man zählt die wahre Elongation in der Richtung von  $A$  nach  $R$  hin; sie ist grösser als  $AR$  und sei dargestellt durch  $AR'$ . Die Richtung der Gesichtslinie  $TR'$  ist die der Tangente an die Meteorbahn im Raume, oder die wahre Fallrichtung, während  $TR$  die scheinbare ist. Die Bewegung der Meteore wird rechtläufig sein, wenn der Punkt  $R'$  in die Halbkugel  $SXY$  fällt, rückläufig wenn  $R'$  in die Halbkugel  $SAY$  fällt. Wenn man nun von der Sonne  $S$  aus den grössten Kreis  $SR'Y$  beschreibt, so wird dieser der Durchschnitt der Kugel mit der Bahnebene sein und die Neigung dieser Ebene gegen die Ekliptik wird zwischen den beiden sphärischen Winkeln  $XSR'$  und  $ASR'$  am kleinsten sein. Die Länge der Sonne zu der Zeit, in welcher die Radiation beobachtet wurde, giebt den aufsteigenden Knoten für die Radianten nördlich von der Ekliptik, und den niedersteigenden für die südlichen Radianten. Wenn der Radiant nördliche Breite hat, so ist der Begegnungsknoten der Meteore mit der Erde der niedersteigende, er ist aber aufsteigend, wenn der Radiant südliche Breite hat.

Man verlängere nun den Bogen  $SR'$  und mache  $R''R'$  gleich  $SR'$ , so wird der Punkt  $R''$  wegen einer sehr bekannten Eigenschaft der Parabel auf der Himmelskugel den heliocentrischen Ort des Perihels bezeichnen, die Gerade  $TR''$  wird alsdann der von der Sonne nach dem Perihel der Meteorbahn gezogenen Geraden parallel und der Bogen  $R''$  wird die

---

der Annäherung durch die Formel  $AS = 90^\circ + 57' \sin (L - 281^\circ)$  erhalten, worin  $L$  die Länge der Sonne in dem betreffenden Augenblick ist. —

<sup>86)</sup> Aus den Ephemeriden erhält man leicht den Radius vector der Erde unter der Formel  $r = 1 + \omega$ ; schon im § 43 hatten wir angeben, dass das Verhältniss der parabolischen Geschwindigkeit  $v$  der Meteore und der Geschwindigkeit  $V$  der Erde durch  $\frac{v}{V} = \sqrt{2} \left(1 + \frac{1}{2} \omega\right)$  ausgedrückt

wird, wobei der Ausdruck  $-\frac{1}{4a}$  verschwindet, weil  $a$  unendlich gross ist.



Distanz des Perihels von dem Bewegungsknoten sein; man erhält die Länge des Perihels, indem man  $R''Y$  zu der Länge dieses Knotens addirt, oder von ihr subtrahirt, je nachdem der Punkt  $R''$  in die Halbkugel  $SAY$  oder  $SXY$  fällt. Wenn der Radius vector der Erde zu der Epoche des beobachteten Meteorschauers  $r$  ist, so ist die Periheldistanz der meteorischen Parabel  $r \cos.^2 \frac{1}{2} R''Y$ . Diese Construction ist so einfach und die daraus hergeleitete Rechnung so klar, dass man für die Bestimmung der Meteorbahnen nichts Besseres wünschen könnte. Für die meisten Fälle erhält man eine sehr grosse Annäherung und eine hinreichende Genauigkeit, wenn man die Excentricität der Erdbahn und die Veränderungen ihrer Geschwindigkeit vernachlässigt. Man vermeidet nämlich alsdann die Berechnung der wahren Elongation aus der scheinbaren, indem hierfür die Betrachtung der Tabelle I. §. 44 genügt, welche die wahre Elongation des Radiannten von dem Apex und die Position des Punktes  $R'$  unmittelbar giebt, unter der Annahme, dass die absoluten Geschwindigkeiten der Meteore und der Erde das constante Verhältniss von  $\sqrt{2} : 1$  haben. Man kann überdies den Bogen  $SA$  als constant und gleich  $90^\circ$  betrachten. Indem man alsdann in dem Kreise der Fig. 13 drei stereographische Projectionen construirt, von denen die eine den Pol in  $T$ , die zweite ihre Pole in  $S$ ,  $Y$ , und die dritte ihre Pole in  $A$ ,  $X$  hat, und indem man für jede Projection ein Netz zeichnet, welches den drei Coordinatensystemen entspricht, deren Pole der Pol der Ekliptik, die Sonne und der Apex sind, so lässt sich die Construction der Punkte  $R$ ,  $R'$ ,  $R''$ , welche die Elemente der Bahn bestimmen, mit der grössten Leichtigkeit ohne Instrumente und nur nach dem Augenmaasse bewerkstelligen, da man auch unmittelbar auf der Figur alle Elemente (wenn die Grade auf den verschiedenen Netzen abgezählt werden) ohne weitere Rechnung ablesen kann, ausgenommen die Periheldistanz, welche nach dieser Hypothese durch  $\cos^2 \frac{1}{2} R''Y$  ausgedrückt wird.

Mit Hülfe einer ähnlichen Construction habe ich den zweiten Theil der Tabelle IV. gebildet, in welchem die angenäherten parabolischen Elemente der Bahnen der von Zezioli beobachteten 189 Meteorströme enthalten sind. Ich habe gedacht, dass diese Elemente, obgleich sie sich nur auf rohe Angaben stützen, und trotz der bei graphischen Constructionen unvermeidlichen Fehler, als ein Hilfsmittel für die Untersuchung dienen können; deshalb habe ich ihre Veröffentlichung für zweckmässig gehalten. In diesem zweiten Theil enthält die erste Spalte die laufende Nummer, um die Vergleichung



mit den Angaben des ersten daneben stehenden Theiles der Tabelle zu erleichtern: in der zweiten und dritten Spalte befinden sich die scheinbaren und wahren Elongationen des Radianten vom Apex, AR und AR'. Die vierte Spalte giebt die Neigung der Bahn und die Bewegungsrichtung<sup>87)</sup>, die fünfte enthält die Länge des aufsteigenden Knotens, die sechste die Länge des Perihels, die siebente endlich giebt die Periheldistanz. Die Sternchen neben den laufenden Nummern der ersten Spalte in beiden Theilen der Tabelle deuten auf die Anmerkungen am Ende der Tabelle hin und bezeichnen einige der Meteorströme, welche etwas Merkwürdiges darbieten.

50. Ich habe geglaubt, dass für den wissbegierigen Leser die Planisphäre der Tafel II. gleichfalls von einigem Interesse sein könnte; auf dieser habe ich für alle nördlichen Radianten von Zezioli die Position der Punkte R' verzeichnet, nämlich die wahren Richtungen, in welchen die Sternschnuppenströme auf die Erde gelangen, stets bezogen auf die Ekliptik und auf den Apex als Ursprung der Längen. Man sieht, dass die grössere Zahl aller von Zezioli beobachteten Meteorströme rechtläufig ist, was allerdings dem im §. 48 ausgesprochenen Satze zu widersprechen scheinen dürfte. Der Widerspruch ist indessen nur scheinbar und rührt davon her, dass die beobachteten Radianten fast alle von der Ekliptik entfernt sind; deshalb ist auch die Gegend um den Apex, wo die scheinbaren Radianten am dichtesten sind, fast völlig leer. Der Parallelkreis von 40° nördlicher Breite, welcher auf der ersten Planisphäre die vollständiger beobachtete Region begrenzt, als Ort von unendlich vielen scheinbaren Radianten R betrachtet, giebt als correspondirenden Ort der wahren Radianten R' auf der zweiten Planisphäre eine ovale Curve, deren rechte Hälfte in Bezug auf die Radianten eine hinreichend genügende Gleichförmigkeit der Vertheilung zeigt. Weil die zweite Planisphäre ebenfalls nach der Projection von Lorgna construirt ist, so giebt die gleichförmige Dichte der Radianten in diesem halben Oval eine ebensolche Gleichförmigkeit auf dem entsprechenden sphärischen Ovale an. So weit also das erwähnte halbe Oval sich erstreckt (welches nur 0,077 der ganzen Kugel einnimmt), scheint die Annahme bestätigt, dass die Meteorströme auf die Erde von allen Theilen her mit

---

<sup>87)</sup> Ich habe die Unterscheidung zwischen directen und rückläufigen Bewegungen beibehalten, obgleich Einige sie zu verwerfen beginnen. Ich glaube, dass man jetzt noch keine Neuerung hierin einführen darf, bis man die Kometenverzeichnisse in dieser Hinsicht in passender Weise umgestaltet haben wird.



gleicher Häufigkeit kommen; man hat für jetzt keinen Grund zu glauben, dass es sich auch für den übrigen Theil der Kugel wesentlich anders verhält.

Uebrigens lässt ein Blick auf diese Karte sehr leicht begreifen, wie fragmentarisch noch die Kenntniss ist, welche man über die Sternschnuppenschauer von einem einzigen Beobachter unter dem Parallel von  $45^{\circ}$  n. Br. erlangen kann, wie emsig und sorgfältig er auch beobachten mag. Nimmt man eine gleichförmige Vertheilung der Radianten am ganzen Himmel an, so verhält sich offenbar die Zahl der in dem mehrfach erwähnten halben Ovale enthaltenen Radianten zu der Gesamtzahl derselben, welche ein Beobachter wie Zezioli am ganzen Himmel würde haben bestimmen können, wie die Fläche des halben, nach der Methode von Lorgna projectirten Ovals, zu der doppelten Fläche des Kreises, welcher von unserer zweiten Planisphäre gebildet ist. Führt man diese Quadraturen aus, so findet man, dass die Zahl der dem ganzen Himmel entsprechenden Radianten 1312 sein würde, ein Resultat, welches man als vollständig übereinstimmend mit dem auf anderem Wege im §. 46 erhaltenen betrachten kann.

51. Die Beschaffenheit des bis jetzt zu Gebote stehenden Beobachtungs-Materials gestattet nicht, in ausführlichere Einzelheiten über die Vertheilung der Sternschnuppenbahnen im Raume einzugehen. Ich habe gleichfalls die Anordnung der grossen Axen der Sternschnuppenbahnen um die Sonne herum untersucht; obgleich es scheint, dass diese Axen um die Richtung herum, welche von der Sonne nach dem Punkte der Himmelskugel von  $135^{\circ}$  heliocentrischer Länge und  $+10^{\circ}$  nördlicher Breite geht, häufiger sind, so möchte ich dennoch nicht auszusprechen wagen, dass dieser Umstand nicht mit der besondern Position des Beobachters in Breite und mit der aussergewöhnlichen Häufigkeit der Radianten im Monat Juli, in welchem man besonders gut diejenigen Sternschnuppen beobachten kann, deren Aphele in der erwähnten Richtung sich befinden, in engerer Verbindung steht. Für diese und für andere Discussionen über denselben Gegenstand müssen wir die Beihülfe anderweitiger Beobachtungen abwarten.

Man könnte vielleicht einiges Licht über die Vertheilung der Sternschnuppenbahnen im Raume erhalten, indem man die Vertheilung der Kometenbahnen untersucht. Aber keineswegs lässt sich die Untersuchung dieser letzteren Bahnen in einer strengen Weise ausführen, wegen der besonderen Verhältnisse unseres Beobachtungsortes, der Erde, und wegen der hohen nördlichen Breiten, in welchen die meisten Kometen entdeckt und beobachtet werden, abgesehen von dem Einfluss der Dämme-



rungen auf die Sichtbarkeit dieser Gestirne und von der Einwirkung der planetarischen Störungen auf die Lage einer gewissen Zahl ihrer Bahnen. Aber auch zugegeben, dass wir zur genauen Kenntniss des Gesetzes gelangen könnten, nach welchem die Kometenbahnen um die Sonne herum und in Bezug auf die Hauptebene des Sonnensystems angeordnet sind, so könnte man doch nicht behaupten, dass dasselbe Gesetz auch ohne Weiteres für die Sternschnuppenbahnen Geltung habe. Denn man könnte annehmen, dass die grössere oder geringere Leichtigkeit, mit welcher die Kometen Sternschnuppenströme erzeugen, gerade von der Anordnung der Bahnen dieser Kometen abhängt; diese Abhängigkeit würde genügen, für die Vertheilung der Sternschnuppenbahnen ein Merkmal festzustellen, welches für die Kometen im Allgemeinen nicht stattfinden könnte. Wenn es sich z. B. bestätigen sollte, dass die periodischen Kometen allein fähig sind, Sternschnuppenströme zu erzeugen, so würden wir als Folge hiervon eine kleine Anhäufung solcher Ströme um die Ebene der Ekliptik herum und ein Vorwiegen der directen Bewegungen wahrnehmen, indem diese Merkmale den meisten periodischen Kometen, oder wenigstens den als solche bestimmt erkannten, zukommen.

Wenn man auch im Laufe der Zeit annehmen müsste, dass die Vertheilung der Sternschnuppenbahnen im Allgemeinen nicht identisch mit der Vertheilung der Kometenbahnen sei, so würde dies doch stets unzweifelhaft bleiben, dass zwischen der einen und der anderen Vertheilung eine innige Beziehung bestehen müsse. Die Untersuchung der Anordnung der Kometenbahnen im Raume ist also durchaus kein unnützer Gegenstand für die Wissenschaft der Sternschnuppen; deshalb habe ich mir erlaubt, in der dritten Note einige hierauf bezügliche Notizen zu sammeln, welche zum Theil bis jetzt noch nicht veröffentlicht sind und deshalb dem wohlwollenden Leser nicht unwillkommen sein dürften.



Ka-

der von H. Joseph Zezioli in Bergamo in  
**Sternschnuppen-**  
sowie der Positionen der bezüglichen Radianten und der  
sprechenden Sternschnuppenströmen um

**Tabelle IV. Theil I.**

| Lau-<br>fende<br>No. | Datum<br>des Stern-<br>schnuppen-<br>schauers. | Länge<br>des<br>Apex. | Coordinten<br>des Radianten. |                   | Coordinten<br>des Radianten. |                   | Länge des<br>Radianten<br>vom Apex<br>aus. |
|----------------------|------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------|------------------------------|-------------------|--------------------------------------------|
|                      |                                                |                       | AR.                          | Decl.             | Länge.                       | Breite.           |                                            |
| 1                    | Januar 6                                       | 196 <sup>0</sup>      | 199 <sup>0</sup>             | + 58 <sup>0</sup> | 162 <sup>0</sup>             | + 58 <sup>0</sup> | — 34 <sup>0</sup>                          |
| 2                    | " 6                                            | 196                   | 175                          | + 48              | 153                          | + 42              | — 43                                       |
| 3                    | " 10                                           | 200                   | 10                           | + 57              | 38                           | + 48              | — 162                                      |
| 4                    | " 11                                           | 201                   | 47                           | + 40              | 55                           | + 22              | — 146                                      |
| 5*                   | " 11—12                                        | 202                   | 183                          | + 28              | 173                          | + 27              | — 29                                       |
| 6                    | " 12                                           | 202                   | 201                          | + 57              | 165                          | + 58              | — 37                                       |
| 7                    | " 17                                           | 207                   | 120                          | + 57              | 110                          | + 36              | — 97                                       |
| 8*                   | " 18                                           | 208                   | 232                          | + 36              | 218                          | + 52              | + 18                                       |
| 9                    | " 19                                           | 209                   | 198                          | + 28              | 186                          | + 34              | — 23                                       |
| 10                   | " 19                                           | 209                   | 218                          | + 37              | 200                          | + 48              | — 9                                        |
| 11                   | " 19                                           | 209                   | 244                          | + 64              | 185                          | + 79              | — 24                                       |
| 12                   | " 19                                           | 209                   | 200                          | + 59              | 162                          | + 59              | — 47                                       |
| 13                   | " 21                                           | 212                   | 205                          | + 49              | 177                          | + 54              | — 35                                       |
| 14                   | " 21                                           | 212                   | 218                          | + 29              | 205                          | + 41              | — 7                                        |
| 15                   | " 21                                           | 212                   | 210                          | + 20              | 200                          | + 31              | — 12                                       |
| 16                   | " 24                                           | 215                   | 195                          | + 56              | 161                          | + 55              | — 54                                       |
| 17                   | " 27                                           | 218                   | 132                          | + 67              | 114                          | + 48              | — 104                                      |
| 18                   | " 27                                           | 218                   | 205                          | + 47              | 179                          | + 52              | — 39                                       |
| 19*                  | " 28                                           | 219                   | 67                           | + 25              | 69                           | + 3               | — 150                                      |
| 20*                  | " 28                                           | 219                   | 236                          | + 25              | 227                          | + 43              | + 8                                        |
| 21                   | " 29                                           | 220                   | 198                          | + 54              | 166                          | + 55              | — 54                                       |
| 22                   | " 30                                           | 221                   | 225                          | + 34              | 210                          | + 48              | — 11                                       |
| 23*                  | " 31                                           | 222                   | 134                          | + 40              | 125                          | + 22              | — 97                                       |
| 24                   | " 31                                           | 222                   | 221                          | + 28              | 209                          | + 41              | — 13                                       |
| 25                   | Febr. 1                                        | 223                   | 215                          | + 30              | 201                          | + 40              | — 22                                       |
| 26                   | " 3                                            | 225                   | 153                          | + 21              | 148                          | + 9               | — 77                                       |
| 27                   | " 5                                            | 227                   | 212                          | + 22              | 202                          | + 33              | — 25                                       |
| 28                   | " 6                                            | 228                   | 130                          | + 49              | 120                          | + 30              | — 108                                      |
| 29                   | " 6                                            | 228                   | 240                          | + 62              | 190                          | + 76              | — 38                                       |
| 30                   | " 6                                            | 228                   | 187                          | + 31              | 174                          | + 31              | — 54                                       |



# talog

den Jahren 1867, 1868, 1869 beobachteten

## radiationen,

angenäherten parabolischen Elemente der von den ent-  
die Sonne beschriebenen Bahnen.

**Tabelle IV. Theil II.**

| Lau-<br>fende<br>No. | Elongation<br>vom Apex. |                  | Neigung<br>der Bahn und<br>Richtung<br>der<br>Bewegung. | Auf-<br>steigen-<br>der<br>Knoten. | Perihel.         | Perihel-<br>Distanz. |
|----------------------|-------------------------|------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------|----------------------|
|                      | schein-<br>bare.        | wahre.           |                                                         |                                    |                  |                      |
| 1                    | 64 <sup>0</sup>         | 103 <sup>0</sup> | 77 <sup>0</sup> D                                       | 286 <sup>0</sup>                   | 143 <sup>0</sup> | 0, 899               |
| 2                    | 57                      | 93               | 87 D                                                    | 286                                | 183              | 0, 612               |
| 3                    | 130                     | 163              | 16 D                                                    | 290                                | 118              | 0, 995               |
| 4                    | 140                     | 167              | 9 D                                                     | 291                                | 131              | 0, 970               |
| 5*                   | 38                      | 64               | 56 R                                                    | 292                                | 33               | 0, 595               |
| 6                    | 65                      | 105              | 74 D                                                    | 292                                | 132              | 0, 970               |
| 7                    | 96                      | 141              | 27 D                                                    | 297                                | 177              | 0, 750               |
| 8*                   | 54                      | 89               | 89 R                                                    | 298                                | 146              | 0, 941               |
| 9                    | 40                      | 67               | 64 R                                                    | 299                                | 61               | 0, 765               |
| 10                   | 48                      | 80               | 80 R                                                    | 299                                | 104              | 0, 983               |
| 11                   | 80                      | 124              | 56 D                                                    | 299                                | 127              | 0, 995               |
| 12                   | 70                      | 112              | 66 D                                                    | 299                                | 161              | 0, 872               |
| 13                   | 61                      | 99               | 80 D                                                    | 302                                | 168              | 0, 847               |
| 14                   | 41                      | 69               | 69 R                                                    | 302                                | 107              | 0, 983               |
| 15                   | 33                      | 56               | 55 R                                                    | 302                                | 88               | 0, 915               |
| 16                   | 71                      | 113              | 64 D                                                    | 305                                | 181              | 0, 780               |
| 17                   | 99                      | 143              | 30 D                                                    | 308                                | 174              | 0, 847               |
| 18                   | 61                      | 99               | 80 D                                                    | 308                                | 181              | 0, 801               |
| 19*                  | 150                     | 171              | 1 D                                                     | 309                                | 147              | 0, 976               |
| 20*                  | 44                      | 73               | 74 R                                                    | 309                                | 145              | 0, 981               |
| 21                   | 71                      | 113              | 64 D                                                    | 310                                | 186              | 0, 780               |
| 22                   | 48                      | 80               | 80 R                                                    | 311                                | 109              | 0, 964               |
| 23*                  | 97                      | 142              | 18 D                                                    | 312                                | 202              | 0, 671               |
| 24                   | 43                      | 72               | 72 R                                                    | 312                                | 100              | 0, 924               |
| 25                   | 45                      | 75               | 74 R                                                    | 313                                | 85               | 0, 835               |
| 26                   | 77                      | 121              | 14 D                                                    | 315                                | 251              | 0, 281               |
| 27                   | 41                      | 69               | 65 R                                                    | 317                                | 75               | 0, 735               |
| 28                   | 106                     | 149              | 18 D                                                    | 318                                | 190              | 0, 808               |
| 29                   | 79                      | 123              | 56 D                                                    | 318                                | 152              | 0, 985               |
| 30                   | 60                      | 98               | 77 D                                                    | 318                                | 246              | 0, 345               |



Tabelle IV. Theil I.

| Lau-<br>fende<br>No. | Datum<br>des Stern-<br>schnuppen-<br>schauers. |     | Länge<br>des<br>Apex. | Coordinationen<br>des Radianten. |       | Coordinationen<br>des Radianten. |         | Länge des<br>Radianten<br>vom Apex<br>aus. |
|----------------------|------------------------------------------------|-----|-----------------------|----------------------------------|-------|----------------------------------|---------|--------------------------------------------|
|                      |                                                |     |                       | AR.                              | Decl. | Länge.                           | Breite. |                                            |
| 31*                  | Febr.                                          | 6   | 228°                  | 183°                             | + 56° | 152°                             | + 51°   | — 76°                                      |
| 32                   | "                                              | 13  | 235                   | 133                              | + 26  | 129                              | + 9     | —106                                       |
| 33                   | "                                              | 13  | 235                   | 232                              | + 30  | 220                              | + 47    | — 15                                       |
| 34                   | "                                              | 14  | 236                   | 105                              | + 62  | 100                              | + 39    | —136                                       |
| 35                   | "                                              | 14  | 236                   | 205                              | + 51  | 175                              | + 55    | — 61                                       |
| 36                   | "                                              | 14  | 236                   | 263                              | + 68  | 170                              | + 87    | — 66                                       |
| 37                   | "                                              | 15  | 237                   | 133                              | + 55  | 120                              | + 37    | —117                                       |
| 38                   | "                                              | 15  | 237                   | 214                              | + 53  | 180                              | + 60    | — 57                                       |
| 39*                  | "                                              | 16  | 238                   | 74                               | + 48  | 75                               | + 47    | —163                                       |
| 40                   | "                                              | 17  | 239                   | 237                              | + 46  | 215                              | + 63    | — 24                                       |
| 41                   | "                                              | 19  | 241                   | 240                              | + 56  | 206                              | + 72    | — 35                                       |
| 42                   | März                                           | 17  | 267                   | 186                              | + 56  | 155                              | + 52    | —112                                       |
| 43*                  | "                                              | 20  | 270                   | 144                              | + 48  | 130                              | + 32    | —140                                       |
| 44                   | "                                              | 27  | 277                   | 238                              | + 24  | 230                              | + 43    | — 47                                       |
| 45                   | "                                              | 30  | 280                   | 215                              | + 55  | 179                              | + 62    | —101                                       |
| 46                   | April                                          | 1   | 282                   | 261                              | + 47  | 254                              | + 69    | — 28                                       |
| 47                   | "                                              | 2   | 283                   | 212                              | + 51  | 182                              | + 58    | —101                                       |
| 48                   | "                                              | 2   | 283                   | 230                              | + 26  | 219                              | + 43    | — 64                                       |
| 49*                  | "                                              | 2—3 | 283                   | 259                              | + 38  | 253                              | + 60    | — 30                                       |
| 50                   | "                                              | 9   | 290                   | 255                              | + 36  | 248                              | + 58    | — 42                                       |
| 51                   | "                                              | 9   | 290                   | 246                              | + 46  | 228                              | + 65    | — 62                                       |
| 52*                  | "                                              | 10  | 291                   | 163                              | + 47  | 145                              | + 36    | —146                                       |
| 53*                  | "                                              | 11  | 292                   | 193                              | + 20  | 185                              | + 24    | —107                                       |
| 54*                  | "                                              | 13  | 294                   | 231                              | + 27  | 220                              | + 44    | — 74                                       |
| 55                   | "                                              | 14  | 295                   | 202                              | + 56  | 167                              | + 58    | —128                                       |
| 56*                  | "                                              | 14  | 295                   | 168                              | + 47  | 148                              | + 39    | —147                                       |
| 57                   | "                                              | 14  | 295                   | 263                              | + 50  | 256                              | + 73    | — 39                                       |
| 58                   | "                                              | 14  | 295                   | 240                              | + 55  | 208                              | + 71    | — 87                                       |
| 59                   | "                                              | 14  | 295                   | 212                              | + 55  | 175                              | + 61    | —120                                       |
| 60                   | "                                              | 23  | 303                   | 250                              | + 40  | 239                              | + 61    | — 64                                       |
| 61*                  | "                                              | 25  | 305                   | 142                              | + 53  | 127                              | + 37    | —178                                       |
| 62                   | "                                              | 25  | 305                   | 256                              | + 75  | 111                              | + 81    | +166                                       |
| 63*                  | "                                              | 25  | 305                   | 260                              | + 24  | 258                              | + 46    | — 47                                       |
| 64                   | "                                              | 29  | 309                   | 182                              | + 27  | 172                              | + 25    | —137                                       |
| 65*                  | "                                              | 30  | 310                   | 237                              | + 35  | 224                              | + 52    | — 86                                       |
| 66                   | Mai                                            | 2   | 312                   | 204                              | + 35  | 186                              | + 42    | —126                                       |
| 67                   | "                                              | 16  | 326                   | 238                              | + 36  | 224                              | + 54    | —102                                       |
| 68                   | "                                              | 18  | 327                   | 263                              | + 38  | 260                              | + 61    | — 67                                       |
| 69                   | "                                              | 22  | 331                   | 300                              | + 44  | 320                              | + 63    | — 11                                       |
| 70*                  | "                                              | 22  | 331                   | 232                              | + 25  | 223                              | + 42    | —108                                       |
| 71                   | "                                              | 24  | 333                   | 240                              | + 44  | 221                              | + 62    | —112                                       |
| 72                   | "                                              | 24  | 333                   | 207                              | + 47  | 181                              | + 52    | —152                                       |
| 73                   | "                                              | 24  | 333                   | 302                              | + 30  | 313                              | + 49    | — 20                                       |
| 74                   | "                                              | 25  | 334                   | 280                              | + 54  | 295                              | + 77    | — 39                                       |
| 75                   | "                                              | 25  | 334                   | 277                              | + 39  | 282                              | + 62    | — 52                                       |



Tabelle IV. Theil II.

| Lau-<br>fende<br>No. | Elongation<br>vom Apex. |        | Neigung<br>der Bahn und<br>Richtung<br>der<br>Bewegung. | Auf-<br>steigen-<br>der<br>Knoten. | Perihel. | Perihel-<br>Distanz. |
|----------------------|-------------------------|--------|---------------------------------------------------------|------------------------------------|----------|----------------------|
|                      | schein-<br>bare.        | wahre. |                                                         |                                    |          |                      |
| 31*                  | 81°                     | 125°   | 49° D                                                   | 318°                               | 200°     | 0, 735               |
| 32                   | 106                     | 149    | 6 D                                                     | 325                                | 207      | 0, 735               |
| 33                   | 48                      | 80     | 80 R                                                    | 325                                | 117      | 0, 941               |
| 34                   | 125                     | 160    | 16 D                                                    | 326                                | 171      | 0, 953               |
| 35                   | 75                      | 118    | 58 D                                                    | 326                                | 202      | 0, 780               |
| 36                   | 88                      | 133    | 47 D                                                    | 326                                | 149      | 0. 999               |
| 37                   | 111                     | 152    | 19 D                                                    | 327                                | 189      | 0. 872               |
| 38                   | 74                      | 117    | 61 D                                                    | 327                                | 193      | 0. 847               |
| 39*                  | 104                     | 147    | 33 D                                                    | 328                                | 152      | 0. 999               |
| 40                   | 66                      | 106    | 74 D                                                    | 329                                | 171      | 0. 964               |
| 41                   | 75                      | 118    | 61 D                                                    | 331                                | 170      | 0. 973               |
| 42                   | 104                     | 147    | 29 D                                                    | 357                                | 213      | 0. 905               |
| 43*                  | 131                     | 163    | 13 D                                                    | 0                                  | 202      | 0. 964               |
| 44                   | 60                      | 98     | 80 D                                                    | 7                                  | 265      | 0. 604               |
| 45                   | 95                      | 140    | 37 D                                                    | 10                                 | 222      | 0. 924               |
| 46                   | 72                      | 114    | 66 D                                                    | 12                                 | 210      | 0. 976               |
| 47                   | 96                      | 141    | 35 D                                                    | 13                                 | 229      | 0. 905               |
| 48                   | 71                      | 113    | 59 D                                                    | 13                                 | 274      | 0. 578               |
| 49*                  | 64                      | 103    | 77 D                                                    | 13                                 | 223      | 0. 933               |
| 50                   | 67                      | 108    | 70 D                                                    | 20                                 | 243      | 0. 866               |
| 51                   | 79                      | 123    | 55 D                                                    | 20                                 | 236      | 0. 905               |
| 52*                  | 133                     | 164    | 13 D                                                    | 21                                 | 219      | 0. 976               |
| 53*                  | 105                     | 148    | 16 D                                                    | 22                                 | 258      | 0. 780               |
| 54*                  | 79                      | 123    | 48 D                                                    | 24                                 | 276      | 0. 655               |
| 55                   | 109                     | 151    | 26 D                                                    | 25                                 | 228      | 0. 960               |
| 56*                  | 131                     | 163    | 14 D                                                    | 25                                 | 222      | 0. 978               |
| 57                   | 77                      | 121    | 58 D                                                    | 25                                 | 223      | 0. 976               |
| 58                   | 89                      | 134    | 45 D                                                    | 25                                 | 229      | 0. 957               |
| 59                   | 104                     | 147    | 31 D                                                    | 25                                 | 231      | 0. 949               |
| 60                   | 78                      | 122    | 56 D                                                    | 33                                 | 256      | 0. 866               |
| 61*                  | 143                     | 168    | 12 D                                                    | 35                                 | 216      | 1. 000               |
| 62                   | 98                      | 142    | 38 D                                                    | 35                                 | 211      | 0. 999               |
| 63*                  | 61                      | 99     | 79 D                                                    | 35                                 | 285      | 0. 671               |
| 64                   | 131                     | 163    | 11 D                                                    | 39                                 | 246      | 0. 946               |
| 65*                  | 88                      | 133    | 40 D                                                    | 40                                 | 272      | 0. 808               |
| 66                   | 116                     | 155    | 19 D                                                    | 42                                 | 253      | 0. 928               |
| 67                   | 97                      | 142    | 33 D                                                    | 56                                 | 276      | 0. 883               |
| 68                   | 79                      | 123    | 54 D                                                    | 57                                 | 281      | 0. 860               |
| 69                   | 64                      | 103    | 77 D                                                    | 61                                 | 253      | 0. 989               |
| 70*                  | 103                     | 147    | 25 D                                                    | 61                                 | 286      | 0. 854               |
| 71                   | 100                     | 144    | 34 D                                                    | 63                                 | 271      | 0. 941               |
| 72                   | 124                     | 160    | 19 D                                                    | 63                                 | 257      | 0. 985               |
| 73                   | 52                      | 86     | 86 R                                                    | 63                                 | 209      | 0. 915               |
| 74                   | 80                      | 124    | 56 D                                                    | 64                                 | 256      | 0. 989               |
| 75                   | 74                      | 117    | 61 D                                                    | 64                                 | 283      | 0. 889               |



Tabelle IV. Theil I.

| Lau-<br>fende<br>No. | Datum<br>des Stern-<br>schnuppen-<br>schauers. |       | Länge<br>des<br>Apex. | Coordina-<br>ten<br>des Radian-<br>ten. |       | Coordina-<br>ten<br>des Radian-<br>ten. |         | Länge des<br>Radian-<br>ten<br>vom Apex<br>aus. |
|----------------------|------------------------------------------------|-------|-----------------------|-----------------------------------------|-------|-----------------------------------------|---------|-------------------------------------------------|
|                      |                                                |       |                       | AR.                                     | Decl. | Länge.                                  | Breite. |                                                 |
| 76                   | Mai                                            | 26    | 335°                  | 237°                                    | + 59° | 195°                                    | + 73°   | -140°                                           |
| 77                   | Juni                                           | 2     | 342                   | 227                                     | + 30  | 214                                     | + 45    | -128                                            |
| 78                   | "                                              | 9     | 348                   | 207                                     | + 37  | 190                                     | + 44    | -158                                            |
| 79*                  | "                                              | 14    | 353                   | 280                                     | + 35  | 285                                     | + 58    | - 68                                            |
| 80                   | "                                              | 19    | 358                   | 300                                     | + 41  | 318                                     | + 60    | - 40                                            |
| 81                   | "                                              | 28    | 7                     | 269                                     | + 44  | 268                                     | + 67    | - 89                                            |
| 82                   | "                                              | 28    | 7                     | 302                                     | + 27  | 312                                     | + 46    | - 55                                            |
| 83*                  | "                                              | 30    | 9                     | 240                                     | + 19  | 235                                     | + 39    | -134                                            |
| 84                   | Juli                                           | 4     | 12                    | 3                                       | + 68  | 46                                      | + 58    | + 34                                            |
| 85                   | "                                              | 5     | 13                    | 222                                     | + 60  | 177                                     | + 68    | +164                                            |
| 86                   | "                                              | 5     | 13                    | 304                                     | + 45  | 326                                     | + 63    | - 47                                            |
| 87                   | "                                              | 5     | 13                    | 247                                     | + 29  | 239                                     | + 49    | -134                                            |
| 88                   | "                                              | 6     | 14                    | 289                                     | + 34  | 299                                     | + 56    | - 75                                            |
| 89                   | "                                              | 8     | 16                    | 288                                     | + 64  | 350                                     | + 82    | - 26                                            |
| 90                   | "                                              | 9     | 17                    | 280                                     | + 40  | 287                                     | + 63    | - 90                                            |
| 91                   | "                                              | 9     | 17                    | 247                                     | + 60  | 206                                     | + 78    | -171                                            |
| 92                   | "                                              | 11    | 19                    | 300                                     | + 49  | 325                                     | + 67    | - 54                                            |
| 93                   | "                                              | 11    | 19                    | 8                                       | + 44  | 28                                      | + 38    | + 9                                             |
| 94                   | "                                              | 13    | 21                    | 338                                     | + 65  | 30                                      | + 63    | + 9                                             |
| 95                   | "                                              | 14    | 22                    | 270                                     | + 51  | 270                                     | + 75    | -112                                            |
| 96                   | "                                              | 17—18 | 25                    | 244                                     | + 59  | 204                                     | + 76    | +179                                            |
| 97                   | "                                              | 18    | 26                    | 272                                     | + 44  | 274                                     | + 68    | -112                                            |
| 98                   | "                                              | 18    | 26                    | 332                                     | + 35  | 350                                     | + 43    | - 36                                            |
| 99                   | "                                              | 18    | 26                    | 317                                     | + 47  | 343                                     | + 59    | - 43                                            |
| 100*                 | "                                              | 18    | 26                    | 342                                     | + 23  | 354                                     | + 29    | - 32                                            |
| 101*                 | "                                              | 18    | 26                    | 324                                     | + 69  | 31                                      | + 70    | + 5                                             |
| 102                  | "                                              | 18    | 26                    | 315                                     | + 61  | 5                                       | + 70    | - 21                                            |
| 103                  | "                                              | 19    | 27                    | 338                                     | + 43  | 2                                       | + 48    | - 25                                            |
| 104                  | "                                              | 19    | 27                    | 332                                     | + 23  | 343                                     | + 33    | - 44                                            |
| 105*                 | "                                              | 19    | 27                    | 355                                     | + 60  | 31                                      | + 55    | + 4                                             |
| 106                  | "                                              | 19    | 27                    | 334                                     | + 45  | 359                                     | + 51    | - 28                                            |
| 107                  | "                                              | 21    | 29                    | 330                                     | + 64  | 22                                      | + 66    | - 7                                             |
| 108                  | "                                              | 21    | 29                    | 240                                     | + 76  | 121                                     | + 77    | + 92                                            |
| 109*                 | "                                              | 21    | 29                    | 313                                     | + 40  | 333                                     | + 55    | - 56                                            |
| 110                  | "                                              | 21    | 29                    | 11                                      | + 38  | 27                                      | + 31    | - 2                                             |
| 111                  | "                                              | 21    | 29                    | 360                                     | + 55  | 30                                      | + 49    | + 1                                             |
| 112                  | "                                              | 23    | 31                    | 308                                     | + 42  | 329                                     | + 58    | - 62                                            |
| 113                  | "                                              | 23    | 31                    | 336                                     | + 30  | 351                                     | + 37    | - 40                                            |
| 114                  | "                                              | 24    | 32                    | 309                                     | + 61  | 0                                       | + 72    | - 32                                            |
| 115                  | "                                              | 24    | 32                    | 330                                     | + 88  | 84                                      | + 68    | + 52                                            |
| 116                  | "                                              | 25    | 33                    | 303                                     | + 41  | 322                                     | + 59    | - 71                                            |
| 117                  | "                                              | 28    | 35                    | 298                                     | + 36  | 311                                     | + 55    | - 84                                            |
| 118*                 | "                                              | 28    | 35                    | 174                                     | + 55  | 147                                     | + 47    | +112                                            |
| 119*                 | "                                              | 28    | 35                    | 336                                     | + 30  | 351                                     | + 37    | - 44                                            |
| 120                  | "                                              | 28    | 35                    | 305                                     | + 35  | 320                                     | + 53    | - 75                                            |



**Tabelle IV. Theil II.**

| Lau-<br>fende<br>No. | Elongation<br>vom Apex. |        | Neigung<br>der Bahn und<br>Richtung<br>der<br>Bewegung. | Auf-<br>steigen-<br>der<br>Knoten. | Perihel. | Perihel-<br>Distanz. |
|----------------------|-------------------------|--------|---------------------------------------------------------|------------------------------------|----------|----------------------|
|                      | schein-<br>bare.        | wahre. |                                                         |                                    |          |                      |
| 76                   | 103°                    | 147°   | 33° D                                                   | 65°                                | 256°     | 0.991                |
| 77                   | 116                     | 155    | 20 D                                                    | 72                                 | 281      | 0.937                |
| 78                   | 132                     | 164    | 15 D                                                    | 78                                 | 268      | 0.992                |
| 79*                  | 79                      | 123    | 54 D                                                    | 83                                 | 313      | 0.821                |
| 80                   | 68                      | 109    | 70 D                                                    | 88                                 | 306      | 0.894                |
| 81                   | 90                      | 135    | 43 D                                                    | 97                                 | 307      | 0.933                |
| 82                   | 67                      | 108    | 68 D                                                    | 97                                 | 349      | 0.655                |
| 83*                  | 123                     | 159    | 17 D                                                    | 99                                 | 306      | 0.946                |
| 84                   | 64                      | 103    | 76 D                                                    | 102                                | 245      | 0.899                |
| 85                   | 111                     | 152    | 28 D                                                    | 103                                | 277      | 0.997                |
| 86                   | 73                      | 116    | 63 D                                                    | 103                                | 319      | 0.905                |
| 87                   | 118                     | 157    | 20 D                                                    | 103                                | 305      | 0.964                |
| 88                   | 82                      | 126    | 49 D                                                    | 104                                | 336      | 0.808                |
| 89                   | 83                      | 128    | 52 D                                                    | 106                                | 291      | 0.997                |
| 90                   | 90                      | 135    | 33 D                                                    | 107                                | 351      | 0.719                |
| 91                   | 102                     | 146    | 34 D                                                    | 107                                | 289      | 1.000                |
| 92                   | 77                      | 121    | 57 D                                                    | 109                                | 321      | 0.924                |
| 93                   | 38                      | 64     | 64 R                                                    | 109                                | 310      | 0.967                |
| 94                   | 64                      | 103    | 77 D                                                    | 111                                | 283      | 0.995                |
| 95                   | 95                      | 140    | 39 D                                                    | 112                                | 308      | 0.981                |
| 96                   | 104                     | 147    | 32 D                                                    | 115                                | 295      | 1.000                |
| 97                   | 98                      | 142    | 37 D                                                    | 116                                | 319      | 0.960                |
| 98                   | 54                      | 89     | 89 R                                                    | 116                                | 229      | 0.695                |
| 99                   | 68                      | 110    | 69 D                                                    | 116                                | 336      | 0.883                |
| 100*                 | 39                      | 65     | 53 R                                                    | 116                                | 206      | 0.500                |
| 101*                 | 69                      | 110    | 70 D                                                    | 116                                | 292      | 0.999                |
| 102                  | 72                      | 114    | 66 D                                                    | 116                                | 311      | 0.983                |
| 103                  | 53                      | 87     | 87 R                                                    | 117                                | 255      | 0.872                |
| 104                  | 53                      | 87     | 85 R                                                    | 117                                | 201      | 0.448                |
| 105*                 | 55                      | 90     | 90 DR                                                   | 117                                | 293      | 0.999                |
| 106                  | 56                      | 92     | 88 D                                                    | 117                                | 338      | 0.877                |
| 107                  | 66                      | 106    | 74 D                                                    | 119                                | 307      | 0.995                |
| 108                  | 91                      | 136    | 44 D                                                    | 119                                | 282      | 0.978                |
| 109*                 | 72                      | 114    | 62 D                                                    | 119                                | 355      | 0.780                |
| 110                  | 31                      | 52     | 52 R                                                    | 119                                | 293      | 0.997                |
| 111                  | 49                      | 81     | 81 R                                                    | 119                                | 301      | 1.000                |
| 112                  | 76                      | 119    | 58 D                                                    | 121                                | 349      | 0.835                |
| 113                  | 52                      | 86     | 84 R                                                    | 121                                | 218      | 0.561                |
| 114                  | 74                      | 117    | 63 D                                                    | 122                                | 319      | 0.978                |
| 115                  | 77                      | 121    | 58 D                                                    | 122                                | 270      | 0.924                |
| 116                  | 80                      | 124    | 52 D                                                    | 123                                | 351      | 0.835                |
| 117                  | 86                      | 131    | 44 D                                                    | 125                                | 355      | 0.821                |
| 118*                 | 104                     | 147    | 27 D                                                    | 125                                | 262      | 0.866                |
| 119*                 | 55                      | 90     | 90 DR                                                   | 125                                | 33       | 0.517                |
| 120                  | 81                      | 125    | 50 D                                                    | 125                                | 3        | 0.765                |



Tabelle IV. Theil I.

| Lau-<br>fende<br>No. | Datum<br>des Stern-<br>schnuppen-<br>schauers. |       | Länge<br>des<br>Apex. | Coordinationen<br>des Radianten. |       | Coordinationen<br>des Radianten. |         | Länge des<br>Radianten<br>vom Apex<br>aus. |
|----------------------|------------------------------------------------|-------|-----------------------|----------------------------------|-------|----------------------------------|---------|--------------------------------------------|
|                      |                                                |       |                       | AR.                              | Decl. | Länge.                           | Breite. |                                            |
| 121                  | Juli                                           | 29    | 36°                   | 266°                             | + 52° | 261°                             | + 75°   | — 135°                                     |
| 122                  | "                                              | 29    | 36                    | 278                              | + 36  | 283                              | + 59    | — 113                                      |
| 123                  | "                                              | 30    | 37                    | 345                              | + 40  | 6                                | + 42    | — 31                                       |
| 124*                 | "                                              | 30—31 | 37                    | 275                              | + 37  | 278                              | + 60    | — 119                                      |
| 125                  | "                                              | 30    | 37                    | 32                               | + 35  | 42                               | + 21    | + 5                                        |
| 126                  | "                                              | 31    | 38                    | 308                              | + 49  | 336                              | + 64    | — 62                                       |
| 127                  | "                                              | 31    | 38                    | 318                              | + 59  | 3                                | + 68    | — 35                                       |
| 128                  | "                                              | 31    | 38                    | 287                              | + 61  | 330                              | + 81    | — 68                                       |
| 129                  | "                                              | 31    | 38                    | 3                                | + 49  | 27                               | + 43    | — 11                                       |
| 130                  | August                                         | 1     | 39                    | 10                               | + 56  | 37                               | + 46    | — 2                                        |
| 131                  | "                                              | 3     | 41                    | 264                              | + 60  | 250                              | + 82    | — 151                                      |
| 132                  | "                                              | 3     | 41                    | 35                               | + 44  | 48                               | + 29    | + 7                                        |
| 133                  | "                                              | 4     | 42                    | 304                              | + 44  | 325                              | + 62    | — 77                                       |
| 134*                 | "                                              | 4     | 42                    | 342                              | + 29  | 356                              | + 34    | — 46                                       |
| 135                  | "                                              | 5     | 43                    | 315                              | + 80  | 65                               | + 72    | + 22                                       |
| 136                  | "                                              | 6     | 44                    | 254                              | + 37  | 245                              | + 58    | — 159                                      |
| 137                  | "                                              | 7     | 45                    | 42                               | + 48  | 55                               | + 31    | + 10                                       |
| 138                  | "                                              | 7     | 45                    | 12                               | + 56  | 39                               | + 47    | — 6                                        |
| 139*                 | "                                              | 10    | 48                    | 43                               | + 57  | 59                               | + 39    | + 11                                       |
| 140*                 | "                                              | 10    | 48                    | 47                               | + 18  | 50                               | — 2     | + 2                                        |
| 141                  | "                                              | 11    | 49                    | 24                               | + 58  | 47                               | + 44    | — 2                                        |
| 142                  | "                                              | 11    | 49                    | 47                               | + 43  | 56                               | + 25    | + 7                                        |
| 143*                 | "                                              | 11    | 49                    | ...                              | + 90  | 90                               | + 67    | + 41                                       |
| 144                  | "                                              | 12    | 50                    | 47                               | + 55  | 61                               | + 36    | + 11                                       |
| 145                  | "                                              | 28    | 65                    | 340                              | + 65  | 30                               | + 63    | — 35                                       |
| 146*                 | Septbr.                                        | 5     | 73                    | 321                              | + 60  | 8                                | + 67    | — 65                                       |
| 147*                 | "                                              | 6     | 74                    | 60                               | + 32  | 64                               | + 11    | — 10                                       |
| 148                  | "                                              | 7     | 75                    | 60                               | + 70  | 75                               | + 48    | 0                                          |
| 149                  | "                                              | 12    | 80                    | 60                               | + 60  | 71                               | + 39    | — 9                                        |
| 150*                 | "                                              | 18    | 86                    | 51                               | + 39  | 59                               | + 19    | — 27                                       |
| 151                  | "                                              | 20    | 87                    | 317                              | + 47  | 343                              | + 59    | — 104                                      |
| 152                  | "                                              | 23    | 90                    | 28                               | + 35  | 39                               | + 22    | — 51                                       |
| 153*                 | "                                              | 28    | 95                    | 83                               | + 54  | 85                               | + 31    | — 10                                       |
| 154                  | Octbr.                                         | 5     | 102                   | 240                              | + 63  | 185                              | + 76    | + 83                                       |
| 155*                 | "                                              | 12    | 109                   | 53                               | + 27  | 57                               | + 7     | — 52                                       |
| 156*                 | "                                              | 13    | 110                   | 80                               | + 19  | 80                               | — 5     | — 30                                       |
| 157*                 | "                                              | 21    | 118                   | 75                               | + 25  | 76                               | + 2     | — 42                                       |
| 158                  | "                                              | 21    | 118                   | 81                               | + 26  | 81                               | + 3     | — 37                                       |
| 159*                 | "                                              | 21    | 118                   | 130                              | + 48  | 120                              | + 29    | + 2                                        |
| 160*                 | "                                              | 21    | 118                   | 96                               | + 13  | 96                               | — 10    | — 22                                       |
| 161*                 | "                                              | 23    | 120                   | 111                              | + 29  | 109                              | + 6     | — 11                                       |
| 162*                 | "                                              | 24    | 121                   | 77                               | + 45  | 80                               | + 22    | — 41                                       |
| 163                  | "                                              | 28    | 125                   | 110                              | + 70  | 100                              | + 48    | — 25                                       |
| 164                  | Novbr.                                         | 9     | 137                   | 61                               | + 42  | 67                               | + 20    | — 70                                       |
| 165*                 | "                                              | 10    | 138                   | 70                               | + 20  | 71                               | — 2     | — 67                                       |



Tabelle IV. Theil II.

| Lau-<br>fende<br>No. | Elongation<br>vom Apex. |        | Neigung<br>der Bahn und<br>Richtung<br>der<br>Bewegung. | Auf-<br>steigen-<br>der<br>Knoten. | Perihel. | Perihel-<br>Distanz. |
|----------------------|-------------------------|--------|---------------------------------------------------------|------------------------------------|----------|----------------------|
|                      | schein-<br>bare.        | wahre. |                                                         |                                    |          |                      |
| 121                  | 100°                    | 144°   | 36° D                                                   | 126°                               | 318°     | 0.989                |
| 122                  | 101                     | 145    | 32 D                                                    | 126                                | 336      | 0.933                |
| 123                  | 50                      | 83     | 83 R                                                    | 127                                | 244      | 0.727                |
| 124*                 | 104                     | 147    | 30 D                                                    | 127                                | 334      | 0.946                |
| 125                  | 22                      | 37     | 36 R                                                    | 127                                | 321      | 0.985                |
| 126                  | 78                      | 122    | 57 D                                                    | 128                                | 347      | 0.889                |
| 127                  | 73                      | 116    | 64 D                                                    | 128                                | 332      | 0.957                |
| 128                  | 87                      | 132    | 48 D                                                    | 128                                | 318      | 0.992                |
| 129                  | 44                      | 73     | 73 R                                                    | 128                                | 283      | 0.953                |
| 130                  | 46                      | 77     | 77 R                                                    | 129                                | 305      | 0.999                |
| 131                  | 97                      | 142    | 38 D                                                    | 131                                | 315      | 0.999                |
| 132                  | 30                      | 51     | 51 R                                                    | 131                                | 330      | 0.973                |
| 133                  | 84                      | 129    | 48 D                                                    | 132                                | 353      | 0.877                |
| 134*                 | 55                      | 90     | 90 DR                                                   | 132                                | 48       | 0.448                |
| 135                  | 73                      | 116    | 64 D                                                    | 133                                | 301      | 0.989                |
| 136                  | 120                     | 158    | 21 D                                                    | 134                                | 323      | 0.994                |
| 137                  | 33                      | 54     | 53 R                                                    | 135                                | 341      | 0.949                |
| 138                  | 47                      | 78     | 78 R                                                    | 135                                | 301      | 0.985                |
| 139*                 | 40                      | 67     | 66 R                                                    | 138                                | 343      | 0.953                |
| 140*                 | 3                       | 5      | 3 R                                                     | 318                                | 324      | 0.997                |
| 141                  | 44                      | 73     | 73 R                                                    | 139                                | 322      | 0.999                |
| 142                  | 26                      | 44     | 43 R                                                    | 139                                | 338      | 0.973                |
| 143*                 | 73                      | 116    | 63 D                                                    | 139                                | 289      | 0.933                |
| 144                  | 37                      | 62     | 62 R                                                    | 140                                | 348      | 0.941                |
| 145                  | 68                      | 109    | 70 D                                                    | 155                                | 350      | 0.983                |
| 146*                 | 81                      | 125    | 54 D                                                    | 163                                | 15       | 0.924                |
| 147*                 | 15                      | 26     | 19 R                                                    | 164                                | 309      | 0.910                |
| 148                  | 48                      | 80     | 80 R                                                    | 165                                | 345      | 1.000                |
| 149                  | 39                      | 65     | 65 R                                                    | 170                                | 329      | 0.967                |
| 150*                 | 33                      | 56     | 41 R                                                    | 176                                | 273      | 0.561                |
| 151                  | 97                      | 142    | 35 D                                                    | 177                                | 32       | 0.910                |
| 152                  | 54                      | 89     | 87 R                                                    | 180                                | 234      | 0.206                |
| 153*                 | 33                      | 56     | 55 R                                                    | 185                                | 337      | 0.941                |
| 154                  | 88                      | 133    | 46 D                                                    | 192                                | 352      | 0.970                |
| 155*                 | 52                      | 86     | 60 R                                                    | 199                                | 217      | 0.024                |
| 156*                 | 30                      | 51     | 10 R                                                    | 20                                 | 280      | 0.413                |
| 157*                 | 42                      | 70     | 7 R                                                     | 208                                | 248      | 0.117                |
| 158                  | 37                      | 62     | 7 R                                                     | 208                                | 265      | 0.228                |
| 159*                 | 29                      | 49     | 49 R                                                    | 208                                | 30       | 1.000                |
| 160*                 | 24                      | 41     | 19 R                                                    | 28                                 | 313      | 0.629                |
| 161*                 | 13                      | 22     | 9 R                                                     | 210                                | 350      | 0.883                |
| 162*                 | 46                      | 77     | 65 R                                                    | 211                                | 277      | 0.297                |
| 163                  | 53                      | 87     | 87 R                                                    | 215                                | 353      | 0.872                |
| 164                  | 71                      | 113    | 41 D                                                    | 227                                | 163      | 0.281                |
| 165*                 | 67                      | 108    | 5 D                                                     | 48                                 | 192      | 0.095                |



**Tabelle IV. Theil I.**

| Lau-<br>fende<br>No. | Datum<br>des Stern-<br>schnuppen-<br>schauers. | Länge<br>des<br>Apex. | Coordinationen<br>des Radianten. |       | Coordinationen<br>des Radianten. |         | Länge des<br>Radianten<br>vom Apex<br>aus. |
|----------------------|------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------|-------|----------------------------------|---------|--------------------------------------------|
|                      |                                                |                       | AR.                              | Decl. | Länge.                           | Breite. |                                            |
| 166*                 | Novb. 10                                       | 138°                  | 87°                              | + 47° | 88°                              | + 23°   | — 50°                                      |
| 167                  | " 10                                           | 138                   | 138                              | + 37  | 130                              | + 20    | — 8                                        |
| 168                  | " 12                                           | 140                   | 6                                | + 34  | 20                               | + 29    | — 20                                       |
| 169                  | " 12                                           | 140                   | 115                              | + 37  | 111                              | + 15    | — 29                                       |
| 170                  | " 13                                           | 141                   | 352                              | + 41  | 12                               | + 40    | — 129                                      |
| 171                  | " 13                                           | 141                   | 40                               | + 60  | 59                               | + 42    | — 82                                       |
| 172                  | " 17                                           | 145                   | 120                              | + 40  | 115                              | + 19    | — 30                                       |
| 173                  | " 19                                           | 147                   | 142                              | + 30  | 136                              | + 14    | — 11                                       |
| 174*                 | " 23                                           | 151                   | 100                              | + 30  | 99                               | + 7     | — 52                                       |
| 175*                 | " 26                                           | 154                   | 107                              | + 33  | 104                              | + 10    | — 50                                       |
| 176*                 | " 30                                           | 158                   | 17                               | + 48  | 36                               | + 38    | — 122                                      |
| 177                  | " 30                                           | 158                   | 145                              | + 29  | 139                              | + 14    | — 19                                       |
| 178                  | Decbr. 9                                       | 167                   | 149                              | + 45  | 135                              | + 31    | — 32                                       |
| 179                  | " 9                                            | 167                   | 100                              | + 59  | 97                               | + 36    | — 70                                       |
| 180                  | " 9                                            | 167                   | 109                              | + 60  | 153                              | + 56    | — 14                                       |
| 181*                 | " 9                                            | 167                   | 135                              | + 37  | 127                              | + 19    | — 40                                       |
| 182                  | " 9                                            | 167                   | 154                              | + 26  | 147                              | + 15    | — 20                                       |
| 183                  | " 12                                           | 171                   | 180                              | + 53  | 153                              | + 48    | — 18                                       |
| 184                  | " 21                                           | 180                   | 117                              | + 67  | 105                              | + 45    | — 75                                       |
| 185                  | " 22                                           | 181                   | 182                              | + 40  | 165                              | + 37    | — 16                                       |
| 186                  | " 23                                           | 182                   | 177                              | + 31  | 165                              | + 27    | — 17                                       |
| 187                  | " 23                                           | 183                   | 157                              | + 64  | 130                              | + 50    | — 52                                       |
| 188                  | " 27                                           | 186                   | 207                              | + 47  | 181                              | + 52    | — 5                                        |
| 189                  | " 27                                           | 186                   | 137                              | + 45  | 126                              | + 28    | — 60                                       |

**Anmerkungen****zu der vorstehenden Tabelle.**

In dieser Tabelle sind alle Radiationen enthalten, welche ich aus den von Zezioli in den Jahren 1867, 1868 und 1869 angestellten Beobachtungen mit irgend welcher Bestimmtheit herleiten konnte. Die Zahl der hierzu verwendeten Bahnen ist wenig geringer als 7000; gleichwohl habe ich von diesen kaum den vierten Theil zu der Bestimmung der Radianten anwenden können; der übrigbleibende Theil gehört unbekannten Radianten an, auch ist möglicherweise ein Theil der Sternschnuppen sporadisch im wahren Sinne des Wortes; ferner brauche ich wohl nicht die unvermeidlichen Beobachtungsfehler und anderen Ursachen zu erwähnen, welche die scheinbare Bahn der Sternschnuppen häufig stören. Ich habe überdies geglaubt, aus dem Katalog viele durch den parallelen Lauf ihrer Meteore gut charakterisirten Sternschnuppenschauer ausschliessen zu müssen, welche aber eine derartige Anordnung der Meteore besitzen, dass die Bestimmung irgend eines Radianten sehr unsicher oder sogar unmöglich sein würde. Ich habe ferner viele Radiationen nicht berücksichtigt, welche durch die Divergenz



Tabelle IV. Theil II.

| Lau-<br>fende<br>No. | Elongation<br>vom Apex. |        | Neigung<br>der Bahn und<br>Richtung<br>der<br>Bewegung. | Auf-<br>steigen-<br>der<br>Knoten. | Perihel. | Perihel-<br>Distanz. |
|----------------------|-------------------------|--------|---------------------------------------------------------|------------------------------------|----------|----------------------|
|                      | schein-<br>bare.        | wahre. |                                                         |                                    |          |                      |
| 166*                 | 54°                     | 89°    | 87° R                                                   | 228°                               | 286°     | 0.235                |
| 167                  | 22                      | 37     | 35 R                                                    | 228                                | 24       | 0.957                |
| 168                  | 35                      | 59     | 55 R                                                    | 230                                | 354      | 0.780                |
| 169                  | 33                      | 56     | 35 R                                                    | 230                                | 316      | 0.465                |
| 170                  | 119                     | 157    | 18 D                                                    | 231                                | 81       | 0.933                |
| 171                  | 82                      | 126    | 43 D                                                    | 231                                | 125      | 0.638                |
| 172                  | 36                      | 61     | 46 R                                                    | 235                                | 323      | 0.483                |
| 173                  | 18                      | 31     | 25 R                                                    | 237                                | 19       | 0.894                |
| 174*                 | 52                      | 86     | 60 R                                                    | 241                                | 259      | 0.024                |
| 175*                 | 51                      | 84     | 62 R                                                    | 244                                | 273      | 0.063                |
| 176*                 | 115                     | 155    | 18 D                                                    | 248                                | 103      | 0.910                |
| 177                  | 23                      | 39     | 26 R                                                    | 248                                | 8        | 0.750                |
| 178                  | 44                      | 73     | 67 R                                                    | 257                                | 355      | 0.570                |
| 179                  | 74                      | 117    | 51 D                                                    | 257                                | 167      | 0.500                |
| 180                  | 57                      | 93     | 87 D                                                    | 257                                | 94       | 0.978                |
| 181*                 | 44                      | 73     | 57 R                                                    | 257                                | 322      | 0.289                |
| 182                  | 25                      | 42     | 29 R                                                    | 257                                | 13       | 0.719                |
| 183                  | 51                      | 84     | 84 R                                                    | 261                                | 51       | 0.933                |
| 184                  | 80                      | 124    | 48 D                                                    | 270                                | 160      | 0.671                |
| 185                  | 39                      | 65     | 64 R                                                    | 271                                | 52       | 0.889                |
| 186                  | 31                      | 52     | 48 R                                                    | 272                                | 44       | 0.835                |
| 187                  | 67                      | 108    | 69 D                                                    | 272                                | 156      | 0.719                |
| 188                  | 52                      | 86     | 86 R                                                    | 276                                | 88       | 0.995                |
| 189                  | 64                      | 103    | 65 D                                                    | 276                                | 208      | 0.313                |

einer zu kleinen Anzahl von Meteoren als zweifelhaft sich erwiesen. Im Allgemeinen habe ich festgehalten, dass eine Radiation nur dann genügend sicher sei, wenn sie wenigstens durch fünf Meteore angezeigt ist, welche von einem und demselben Punkte aus gut divergiren und ihren Ursprung in der Nähe dieses Punktes haben. Den Bahnen, welche in grosser Entfernung von ihrem Radianten beginnen, habe ich niemals ein grosses Gewicht beigemessen. Ich habe schon früher angeführt, dass die Positionen aller unserer Radianten Nacht für Nacht bestimmt worden sind; nur in seltenen Fällen habe ich mich für ermächtigt gehalten, zwei oder mehrere Radiationen, welche in zwei oder in mehreren aufeinander folgenden Nächten von benachbarten Punkten herkommen, als identisch anzusehen. Deshalb ist es wohl möglich, dass zwei in diesem Katalog als verschiedene aufgeführte Radiationen zuweilen in Wirklichkeit demselben Radianten angehören. Ich habe aber die grosse, und bei diesem Gegenstande sehr häufige Gefahr vermeiden wollen, wesentlich von einander verschiedene Dinge zu identificiren und mit einander zu vermengen, deshalb habe ich lieber aus übergrosser Vorsicht als aus zu grosser Kühnheit fehlen wollen. Die hier angenommenen Coordinaten der Radianten sind nicht alle gleich sicher; viele von ihnen werden bei ferneren Beobachtungen bedeutende Correctionen erfahren. Für die gegenwärtige Untersuchung der



Vertheilung der Sternschnuppenschauer war aber eine äusserste Genauigkeit nicht nothwendig; es war vielmehr zweckmässig, eine so grosse Anzahl von Radianten, als nur möglich, zu erhalten. Ich beabsichtige, später alle diese Sternschnuppenschauer eine nach der anderen zu untersuchen, und die genauen Positionen zugleich mit den Beobachtungen zu veröffentlichen, aus welchen jeder Radiant hergeleitet ist, je nachdem die fortwährend zunehmende Menge der Beobachtungen von Zezioli und von Anderen mir dies gestatten. Hier will ich mich nur auf einige Anmerkungen für diejenigen Radianten beschränken, welche irgend etwas Bemerkenswerthes darbieten<sup>88)</sup>.

- No. 5. Dieser Radiant wurde am 11. und 12. Januar 1869 beobachtet: indem ich die Beobachtung beider Tage getrennt untersuchte, fand ich:

für den 11. Januar, AR  $184^{\circ}$  Decl.  $+ 28^{\circ}$

für den 12. Januar, —  $182$  —  $+ 29$

Er gehört wahrscheinlich dem Systeme MG von Greg an, welches er vom 1. bis zum 25. Januar dauern lässt, und dem er als Coordinaten  $172^{\circ} + 31^{\circ}$  bis  $187^{\circ} + 40^{\circ}$  giebt, mit einem Maximum für die Epoche des 24. Januar. Weiss (Astron. Nachr. N. 1710) vermuthet eine Beziehung mit dem Kometen 1792 II, welche durch unsere Bahn nicht bestätigt wird.

- No. 8. Genaue, von Zezioli am 18. Januar 1869 beobachtete Radiation. Die Coordinaten des Radianten sind sehr sicher und aus 21 gut übereinstimmenden Sternschnuppen hergeleitet.

- No. 19. Beobachtet im Jahre 1868. Scheint ein Theil des Systems AG von Greg zu sein, welches er vom 20. Dezember bis zum 6. Februar andauern lässt, und dem er die Position  $68^{\circ} + 20^{\circ}$  giebt. Die von Greg angeführte Bezeichnung, elongated and diffuse, stimmt gut mit den Beobachtungen von Zezioli überein. Von allen Radianten unseres Katalogs ist dieser am weitesten vom Apex entfernt; die Bewegung seiner Meteore folgt der der Erde, indem sie mit der Bahn derselben einen Winkel von nur  $9^{\circ}$  bildet. Wir werden später sehen, dass die Zerstreuung der Meteore in diesem Falle durch die Einwirkung der Attraction der Erde veranlasst ist, welche die Bahnen bis zu  $15^{\circ}$  ablenken kann.

- No. 20. Am 28. Januar 1868 von 16<sup>h</sup>. 30<sup>m</sup>. bis 18<sup>h</sup>. 15<sup>m</sup>. verzeichnete Zezioli 61 Sternschnuppen, und ein Mitbeobachter zählte deren andere 73. Ein Theil der Bahnen zeigt in den Richtungen

<sup>88)</sup> In den folgenden Anmerkungen wurden zur Vergleichung die von Prof. Heis, von R. P. Greg und von J. Schmidt veröffentlichten Kataloge von Sternschnuppenradiationen benutzt, und zwar folgende Ausgaben derselben: — Für den Katalog von Heis die in No. 1642 der Astronom. Nachrichten d. d. 27. Mai 1867 publicirte Ausgabe; für den Katalog von Greg die in der „Scientific Review“ zu London d. d. 1. Juni 1868 publicirte Ausgabe; für den Katalog von Schmidt die in den Publications de l'Observatoire d'Athènes tome II, fascicule I gedruckte Ausgabe. Die Radianten von Heis und Greg sind mit den von diesen Astronomen angewendeten Bezeichnungen angeführt; die Radianten von Schmidt mit den laufenden Nummern seines Katalogs.



eine grosse Verwirrung; nur der Radiant, von dem hier die Rede ist, tritt mit Bestimmtheit hervor, obgleich die Lage der zu seiner Bestimmung angewendeten 24 Bahnlinien nicht der Art ist, um aus ihnen die Coordinaten mit grosser Genauigkeit bestimmen zu können. Die Radiation ist weit ausgedehnt und ohne Ordnung, obgleich sehr evident. Vielleicht wurde der Sternschnuppenschauer durch das Zusammentreffen mehrerer gleichzeitig wirkender Radianten hervorgebracht, aus den Beobachtungen aber kann man keine andern Punkte, als den bisher erwähnten, erhalten.

- No. 23. Dieser Radiant ist wahrscheinlich identisch mit  $M_{1,2}$  von Greg, dessen Coordination  $128^\circ + 40^\circ$  sind. Nach Greg dauert dieser Sternschnuppenschauer vom 2. Januar bis zum 9. Februar, mit dem Maximum vom 25. bis 31. Januar.
- No. 31. Vielleicht identisch mit  $M_3$  von Heis (Februar 1. bis 14.), dessen Coordinaten  $171^\circ + 56^\circ$  sind. Die Entfernung beider ist nicht viel über  $6^\circ$  des grössten Kreises.
- No. 39. Hier ist kaum an der Identität dieser Radiation mit  $A_{3,4}$  von Greg zu zweifeln, den er vom 9.—17. Febr. andauern lässt und dem er die Coordinaten  $73^\circ + 40^\circ$  giebt mit der Note Radiant well defined and limited. Der Punkt  $A_4$  von Heis hat die Position  $76^\circ + 40^\circ$  und ist zwischen dem 14. und 20. Febr. thätig; ohne Zweifel ist er identisch mit dem von Greg und wahrscheinlich auch mit dem unsrigen.
- No. 43. Dieser Radiant zeigt mit einer bestimmten Evidenz ein oblonges Radiationsfeld. Dies kann indessen möglicher Weise von der Anziehung der Erde herrühren, da unter den Radianten des Katalogs dieser einer der dem Anti-Apex zunächst gelegenen ist; dieser Umstand gestattet der Erde, die Meteore beträchtlich abzulenken (siehe Cap. IV). Seine Identität mit  $M_6$  von Heis ist zweifellos, für welchen dieser Astronom die Coordinaten  $150^\circ + 47^\circ$  angiebt, und den er zwischen dem 16. und 31. März aufstellt.
- No. 49. Die Beobachtungen vom 2. April 1868 und vom 2. April 1869 haben für diesen Radianten  $258^\circ + 36^\circ$  ergeben. Aus den Beobachtungen vom 3. April 1868 erhielt ich  $260^\circ + 40^\circ$ . Ich möchte ihn nicht mit  $QH_1$  von Greg ( $268^\circ + 25^\circ$ ) identificiren, da das Intervall zwischen beiden mir zu gross zu sein scheint.
- No. 52 und 56. Diese beiden Radiationen kann man vielleicht in eine verschmelzen, da ihre Zwischenzeit nur 4 Tage beträgt und die Radiationspunkte fast identisch sind. Diesem steht aber der Umstand entgegen, dass ich in den dazwischen liegenden Tagen vom 10. bis 14. April nicht die geringste Spur einer Radiation habe auffinden können, obgleich es an diesen Tagen nicht an Beobachtungen in solchen Stunden fehlt, in welchen dieser Radiant hoch über dem Horizont sein musste. Beide Radianten sind dem Anti-Apex sehr nahe, wahrscheinlich besteht irgend eine Beziehung zu  $M_8$  von Heis, welcher um den 20. April herum thätig ist, und dessen Coordinaten  $160^\circ + 49^\circ$  sind.
- No. 53. Eine weit ausgedehnte und wenig genaue Radiation, deren Radiant mit sehr mittelmässiger Genauigkeit bestimmt ist. Vielleicht hat sie eine Beziehung zu  $S_4$  von Heis, deren Position  $185^\circ + 22^\circ$  ist, und die für die erste Hälfte des April gilt, oder mit  $S_5$  von Heis, deren Position  $199^\circ + 14^\circ$  ist, die aber nur für den 20. April gilt. Alle diese drei Radianten können aber auch verschieden sein und einer und derselben Gruppe angehören.
- No. 54. Die Elemente der für diesen Sternschnuppenstrom berechneten Parabel haben eine grosse Aehnlichkeit mit denen des Kometen



1847 I, mit Ausnahme der Periheldistanz, wie man aus der folgenden Vergleichung ersieht:

| Strom No. 54<br>(13. April) |             | Komet 1847 I<br>(Elemente von Hornstein) |
|-----------------------------|-------------|------------------------------------------|
| Länge des Perihels          | 276°        | 276°,0                                   |
| „ des aufsteigenden Knotens | 24          | 21,7                                     |
| Neigung                     | 48          | 48,6                                     |
| Periheldistanz              | 0,655       | 0,043                                    |
| Bewegung                    | rechtläufig | rechtläufig                              |

Einen ähnlichen Fall, in welchem die Periheldistanz von der Identität der Elemente ausgeschlossen ist, findet man von Professor Weiss angeführt (Beiträge zur Kenntniss der Sternschnuppen p. 28).

- No. 61. Trotzdem die Bewegung rechtläufig und gegen die Bahn der Erde nur 12° geneigt ist, wodurch bedeutende Störungen der Erde auf die Bahn der Meteore veranlasst sind, ist die Radiation sehr bestimmt und auch genau. Da die Beobachtungen angestellt wurden, als der Radiant nur wenig vom Zenith abstand, und fast alle in dem Zeitraum einer Stunde, so konnte die Regelmässigkeit der Radiation nicht sehr durch die Attraction der Erde gestört werden (siehe Cap. IV).

- No. 63. Hier ist eine entfernte Aehnlichkeit zwischen den parabolischen Elementen dieses Stromes und denen des Kometen 1748 II, wie man aus folgenden Zahlenangaben ersieht:

| Strom No. 63<br>(25. April) |             | Komet 1748 II<br>(Elemente von Bessel) |
|-----------------------------|-------------|----------------------------------------|
| Länge des Perihels          | 285°        | 278°,8                                 |
| „ des aufsteigenden Knotens | 35          | 33,1                                   |
| Neigung                     | 79          | 67,1                                   |
| Periheldistanz              | 0,671       | 0,625                                  |
| Bewegung                    | rechtläufig | rechtläufig                            |

Die Aehnlichkeit wird etwas grösser, wenn man das Perihel und den Knoten des Kometen auf das Aequinoctium von 1868 reducirt, in welchem Jahre die Radiation von Zezioli beobachtet worden ist. Unglücklicher Weise ist die Bahn des Kometen nur aus drei unvollkommenen Beobachtungen von Klinkenberg hergeleitet. Die Radiation der Sternschnuppen ist sehr evident, aber sehr zerstreut, deshalb ist auch ihre Bahn nicht sehr sicher. Man kann also der angegebenen Aehnlichkeit keinen grossen Werth beimessen.

- No. 65. Dieser Sternschnuppenschauer dehnt sich auch bis zum 1. Mai aus. Indem ich die Beobachtungen des 30. April 1867 und des 30. April 1868 combinirte, fand ich für den Radianten  $237^\circ + 35^\circ$ . Aus den Beobachtungen des 1. Mai 1868 leitete ich her:  $237^\circ + 35^\circ$ , zufällig mit der vorhergehenden Position übereinstimmend. Hier ist einige Aehnlichkeit mit  $Q_2$  von Greg ( $235^\circ + 30^\circ$ ), welchen er vom 23. April bis 4. Juni andauern lässt. Der Radiant  $Q_1$  von Heis ( $232^\circ + 27^\circ$ ) dauert vom 1. bis 31. Mai.

- No. 70. Dieser Radiant ist fast identisch mit der Position von No. 65, obgleich die Zwischenzeit 22 Tage beträgt. Dieser mehr noch als No. 65 ist mit  $Q_1$  von Heis zu vergleichen, da die Positionen sehr gut übereinstimmen. Ich möchte glauben, dass alle diese Radianten einem gemeinsamen Systeme angehören.

- No. 79. Radiant von guter Form, welcher wahrscheinlich in dem Systeme W von Greg enthalten ist, welches als Coordinaten  $280^\circ + 29^\circ$  hat, und das sich vom 6. Mai bis 20. Juni erstreckt. Der Radiant



- No. 13 von Schmidt hat die Position  $284^{\circ} + 38^{\circ}$ , und seine Erscheinung fällt in den Juni.
- No. 83. Die Coordinaten dieses Radianten sind  $240^{\circ} + 19^{\circ}$  (30. Juni)  
 „ „ von  $Q_2$  (Heis) „  $242 + 12$  (1.—30. Juni)  
 „ „ „ No. 10 (Schmidt) „  $255 + 23$  (Juni)  
 „ „ „  $Q_1$  (Greg) „  $245 + 21$  (23. Apr.—30. Juni)
- No. 100. Schmidt No. 39 (5. bis 25. Juli) hat die Position  $345^{\circ} + 25^{\circ}$ .
- No. 101.  $B_4$  von Heis (15. bis 30. Juli) hat die fast identische Position  $320^{\circ}$  bis  $70^{\circ}$ .
- No. 105. Die Ebene dieser Bahn ist senkrecht zur Ekliptik; deshalb ist hier noch zu bemerken, dass das Perihel eine nördliche Breite hat.
- No. 109. Dieser Radiant hat vielleicht eine Beziehung zu BG von Greg ( $315^{\circ} + 31^{\circ}$ ), welcher vom 4. Juli bis zum 22. August andauert mit dem Maximum am 30. Juli, und mit Nr. 35 von Schmidt (5. bis 30. Juli) mit der Position  $317^{\circ} + 32^{\circ}$ . Demselben Systeme gehören wahrscheinlich  $B_4$  von Greg und unsere Nummern 99, 109, 112, 116, 120 und 126 an, welche in der Zeit vom 18. bis 31. Juli thätig sind und sämmtlich benachbarte Positionen haben.
- No. 118. Schmidt No. 22 (Ende Juli) hat die Position  $165^{\circ} + 62^{\circ}$ . Der Punkt V von Greg (29. Juli bis 6. September) findet sich bei  $172^{\circ} + 60^{\circ}$ . Dieser Radiant zeichnet sich vor allen anderen durch seine grosse Nähe bei der Sonne aus, von welcher er nur  $50^{\circ}$  entfernt ist. Die von Weiss (Astron. Nachr. No. 1710) und von Schmidt (Astron. Beob. über Meteorbahnen und deren Ausgangspunkte p. 46) vermuthete Analogie zwischen diesem Sternschnuppenstrom und dem Kometen 1737 II scheint durch die Beobachtungen von Zezioli bestätigt zu werden; stellt man beide Bahnen neben einander, so findet man:

|                     | Strom No. 118<br>(28. Juli) | Komet 1737 II<br>(Elemente von Daussy) |
|---------------------|-----------------------------|----------------------------------------|
| Länge des Perihels  | $262^{\circ}$               | $262^{\circ},6$                        |
| „ aufsteig. Knotens | 125                         | 123, 9                                 |
| Neigung             | 27                          | 39, 3                                  |
| Periheldistanz      | 0.866                       | 0.867                                  |
| Bewegung            | rechtläufig                 | rechtläufig                            |

Nur bei der Neigung bleibt eine merkliche Differenz. Ich vermag nicht zu sagen, ob sie durch fernere Beobachtungen verringert werden kann.

- No. 119. Das Perihel fällt mit dem Südpol der Ekliptik fast zusammen.
- No. 124. Diese Radiation wurde am 30. und 31. Juli beobachtet. Aus den Beobachtungen am 30. Juli 1867 erhält man  $274^{\circ} + 38^{\circ}$ ; aus denen des 31. Juli 1867, 1868, 1869 hat man  $277^{\circ} + 36^{\circ}$ . Sie ist ohne Zweifel identisch mit No. 31 von Schmidt, welche für Ende Juli  $277^{\circ} + 40^{\circ}$  ergiebt. Sie ist nicht weit von  $B_5$  von Greg entfernt, welche aber erst am 2. August in Thätigkeit tritt und als Coordinaten  $285^{\circ} + 44^{\circ}$  hat.
- No. 134. No. 62 von Schmidt (1. bis 15. August) giebt  $338^{\circ} + 30^{\circ}$ .  $T_1$  von Greg ( $338^{\circ} + 13^{\circ}$ ) scheint zu entfernt zu sein, um irgend eine Vergleichung feststellen zu können. Das Perihel fällt mit dem Südpol der Ekliptik fast zusammen.
- No. 139. Radiation der Perseiden, aus sehr vielen Beobachtungen der Jahre 1868 und 1869 bestimmt. Die Vergleichung unserer Parabel mit der Bahn des Kometen 1862 III lässt in Wahrheit nichts zu wünschen übrig. In Positionen, welche diesem Radianten sehr nahe sind, und an den der Epoche des 10. August benachbarten Tagen zeigt sich eine grosse Anzahl von parasitischen Radiationen, welche mit der Hauptradiation ein und das-



selbe System bilden. Der Art sind unsere No. 132, 137, 142, 144: die No. 46, 47, 48, 49 von Schmidt;  $A_{10}$ ,  $A_{12}$  von Heis; und eine der am 15. August 1868 in Aden von Weiss, Tiele und Oppolzer beobachteten Radiationen. Diese Thatsache macht die Untersuchung der Radiationen in dieser Epoche des Jahres äusserst schwierig und es bedarf noch vieler guter Beobachtungen, um in dieser Verwirrung von Radianten Klarheit zu erlangen. —

- No. 140. Ein aus neun in  $1\frac{1}{4}$  Stunden am 10. August 1869 beobachteten Sternschnuppen bestimmte Radiant mit sehr genauer Divergenz. Von allen unseren Radianten ist dieser der dem Apex nächst gelegene; die Entfernung beträgt hier nur ungefähr  $2^\circ$ , eine Grösse, welche man zu den Beobachtungsfehlern zählen kann. Seine Position weicht nicht viel von dem Radiationspunkt des Kometen 1862 II ab, welcher von Prof. Weiss (Beitr. etc. p. 11) bei  $47^\circ + 13^\circ$  angegeben ist. Diese Coincidenz hat aber geringe Bedeutung, weil unser Radiant für den 10. August gilt, der des Kometen aber für den 19. August; hieraus folgt, dass die Elemente beider Bahnen nur eine unvollkommene Aehnlichkeit haben:

|                              | Strom No. 140<br>(10. August) | Komet 1862 II<br>(Elemente von Seeling) |
|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------|
| L. des Perihels              | $324^\circ$                   | $299^\circ,3$                           |
| L. des aufsteigenden Knotens | $318$                         | $326,5$                                 |
| Neigung                      | $3$                           | $7,9$                                   |
| Periheldistanz               | $0,997$                       | $0,981$                                 |
| Bewegung                     | rückläufig                    | rückläufig                              |

Der Unterschied in der Länge des Knotens ist wegen der kleinen Neigung von geringer Bedeutung; der in der Länge des Perihel aber ist zu gross, auch kann man ihn gewiss nicht aus Beobachtungsfehlern erklären, da beide Bahnen sehr genau bestimmt sind. Man kann hieraus ersehen, wie unnütz die Vergleichung der Positionen der Radianten ist, wenn man nicht sicher ist, dass ihre Epochen wenigstens innerhalb von 3 oder 4 Tagen zusammenfallen; und wie nothwendig es ist, bei den Beobachtungen der Radianten die Epochen, auf welche sie sich beziehen, genau zu bestimmen.

- No. 143. Auch Greg versetzt diesen Radianten an den Nordpol des Aequators und lässt ihn vom 28. Juli bis 10. September andauern. Heis dagegen setzt seinen Punkt  $N_{13}$  in  $345^\circ + 85^\circ$ . Bei Annahme dieser Position fand Prof. Weiss, dass die Bahn dieses Stromes mit der des Kometen 1853 III übereinstimmt, ausgenommen in der Periheldistanz. Nimmt man dagegen die Position von Greg und die unsrige, so ist diese Aehnlichkeit nicht mehr so gross. Auch kann unser Strom No. 135 eine ähnliche Analogie darbieten.

|                 | Strom No. 143<br>(11. August) | Strom No. 135<br>(5. August) | Heis $N_{13}$<br>(Bahn v. Weiss) | Komet 1853 III<br>(Elem. v. Krahle) |
|-----------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| L. d. Perihels  | $289^\circ$                   | $301^\circ$                  | $317,07$                         | $310,09$                            |
| L. d. aufsteig. |                               |                              |                                  |                                     |
| Knotens         | $139$                         | $133$                        | $138,4$                          | $140,5$                             |
| Neigung         | $63$                          | $64$                         | $64,4$                           | $61,5$                              |
| Periheldist.    | $0,933$                       | $0,989$                      | $1,013$                          | $0,307$                             |
| Bewegung        | rechtläufig                   | rechtläufig                  | rechtläufig                      | rechtläufig                         |

Weiss berechnete, dass der Radiationspunkt des Kometen (oder vielmehr der Meteore, welche eine ähnliche Bahn mit demselben Brennpunkt durchlaufen, in derselben Ebene und von ähnlicher Lage) bei  $299^\circ + 80^\circ$  sein müsste; diese Position ist aber mit den Beobachtungen absolut unvereinbar, die von mir zu der



- Bestimmung des Radianten angewendet worden sind, dagegen fast absolut identisch mit der unserer No. 135. Die Differenz von 6 Tagen in der Epoche genügt aber, dieser Identität jede Bedeutung zu nehmen, wie man aus obiger Zusammenstellung sieht, wo zwischen der Bahn des Kometen und der von No. 135 die Nichtübereinstimmungen sehr beträchtlich sind, auch wenn man von der Periheldistanz absieht.
- No. 146. Vielleicht ist hier eine Analogie oder Identität mit No. 91 von Schmidt ( $309^{\circ} + 67^{\circ}$ ), welche im September thätig ist.  $B_8$  von Heis ( $311^{\circ} + 65^{\circ}$ ) würde noch mehr benachbart sein, tritt aber erst in der zweiten Hälfte des Septembers in Thätigkeit. E von Greg ( $335^{\circ} + 52^{\circ}$ ) scheint zu entfernt.
- No. 147. Dieser Radiant würde sehr unsicher sein, wenn er nicht durch  $R_1$  von Heis ( $53^{\circ} + 35^{\circ}$ ) bestätigt würde, welcher in der ersten Hälfte des September thätig ist.
- No. 150. Sehr wahrscheinlich identisch mit  $R_2$  von Heis ( $46^{\circ} + 37^{\circ}$ ), welcher sich in der zweiten Hälfte des Septembers zeigt.
- No. 153. Identisch mit dem Radianten, welcher von A. S. Herschel am 27. September 1864 bei  $28^{\circ} + 59^{\circ}$  bestimmt ist. (Monthly Notices of the Astr. Society Vol. XXV No. 2.)
- No. 155. Sehr schöne von Zezioli am 12. Oct. 1868 beobachtete Radiation, auf Grund von ungefähr 6 Sternschnuppen in der Stunde. Die Position des aus 22 Sternschnuppen abgeleiteten Radianten ist sehr sicher, weil die Bahnen sehr nahe bei diesem Punkte anfangen und die Divergenz von demselben vollkommen und regelmässig war. Diese Sternschnuppen kommen demgemäss fast genau in der Verlängerung des Radius vector der Erde auf diese herab, und diejenigen, welche nicht die Erde treffen, fallen fast in einer geraden Linie zur Sonne, da die Periheldistanz nur 0,024 beträgt. Diesem Radianten sehr nahe ist der Punkt  $R_3$  von Heis ( $45^{\circ} + 32^{\circ}$ ), welcher in der ersten Hälfte des Octobers wirksam ist.  $R_3$  von Greg ( $41^{\circ} + 24^{\circ}$ ) tritt erst mit dem 14. October in Thätigkeit. Unsere Position lässt keinen Fehler von mehr als zwei oder drei Graden zu.
- No. 156. Vielleicht in Beziehung zu 112 Schmidt (10. bis 27. October), deren Position  $79^{\circ} + 13^{\circ}$  ist.
- No. 157. Dieser Radiant ist in Palermo von Prof. Tacchini am 21. October 1867 beobachtet: in 40 Minuten wurden 17 kleine zu ihm gehörige Sternschnuppen bestimmt. Die Beobachtungen von Zezioli im Jahre 1868 haben seine Existenz bestätigt. Wahrscheinlich ist er identisch mit 109 Schmidt (10. bis 27. October), dessen Position  $71^{\circ} + 31^{\circ}$  ist; weniger wahrscheinlich ist eine Beziehung zu  $A_{16}$  von Heis ( $72^{\circ} + 44^{\circ}$ ).
- No. 159. Nicht sehr entfernt von diesem ist LG von Greg (October 3. bis 20.), dessen Coordinaten  $143^{\circ} + 42^{\circ}$  sind.
- No. 160. Dieser Radiant ist mehrere Male von verschiedenen Beobachtern bestimmt worden.
- |                   |                       |                           |
|-------------------|-----------------------|---------------------------|
| 1. Herrick        | 1839, 20.—26. October | $99^{\circ} + 26^{\circ}$ |
| 2. Schmidt        | 1863, 18.—21. "       | $94 + 15$                 |
| 3. A. S. Herschel | 1865, 20. "           | $90 + 15$                 |
| 4. Schmidt        | 1867, 19.—27. "       | $92 + 17$                 |
| 5. Zezioli        | 1868, 21. "           | $96 + 13$                 |
| 6. Schmidt        | 1868, 19.—22. "       | $92 + 18$                 |
- No. 161. Diese schöne und genaue Radiation ist die einzige, deren Fortsetzung wenigstens für fünf auf einander folgende Tage ich mit einiger Wahrscheinlichkeit zu behaupten im Stande bin; dies ist keine Folge einer grösseren transversalen Ausdehnung des



Stromes, sondern vielmehr des kleinen Winkels, welchen seine Bahn mit der Erdbahn in dem Begegnungspunkte bildet ( $22^\circ$ ). Zezioli beobachtete diese Radiation am 21., 22., 24., 25. October 1868; aus seinen Beobachtungen erhielt ich folgende Resultate:

|                  |           |                |                    |
|------------------|-----------|----------------|--------------------|
| 1868 October 21. | . . . . . | AR $110^\circ$ | Decl. $+ 29^\circ$ |
| " 22.            | . . . . . | " 111          | " $+ 30$           |
| " 24.            | . . . . . | " 112          | " $+ 31$           |
| " 25.            | . . . . . | " 113          | " $+ 29$           |

Am 23. October wurden keine Beobachtungen angestellt. Die Uebereinstimmung zwischen diesen Bestimmungen ist sicher zufällig, obgleich ich erklären muss, dass jede von ihnen in völliger Unkenntniss mit dem Resultate der anderen gemacht worden ist. Die grösste Fülle von Meteoren war am 22. October, an welchem Tage von 16<sup>h</sup>. 30<sup>m</sup>. bis 17<sup>h</sup>. 7<sup>m</sup>. 20 Sternschnuppen beobachtet wurden, welche man als zu diesem Radianten gehörig betrachten kann. Die Genauigkeit dieser Radiation hängt zum Theil von ihrer Nähe bei dem Apex ab, von welchem sie nur  $13^\circ$  entfernt ist. Ich finde in keinem Katalog eine Erwähnung dieses Sternschnuppenschauers.

- No. 162. Diese Radiation ist sehr wahrscheinlich dieselbe, welche Heis mit  $A_{16}$  (15. bis 30. October) bezeichnet, und deren Coordinaten  $72^\circ + 44^\circ$  sind.
- No. 165. Bei diesem Radianten ist nur ein geringer Zweifel über seine Identität mit RG von Greg (October 25. – November 21.), dessen Coordinaten  $64^\circ + 18^\circ$  sind.  $R_4$  von Heis ( $55^\circ + 16^\circ$ ) ist zu entfernt.
- No. 166. Ich halte eine Beziehung zu  $F_1$  von Greg (September 17. – November 24.) für möglich, welcher bei  $83^\circ + 50^\circ$  gelegen ist; eine Identität mit 134 Schmidt (10. bis 14. November) ist sehr wahrscheinlich, dessen Coordinaten  $82^\circ + 45^\circ$  sind.
- No. 174. 175. Vielleicht stehen diese Radiationen im Zusammenhang mit G von Greg; ihre Position aber ( $100^\circ + 33^\circ$ ) ist das Mittel aus zwei Bestimmungen von A. S. Herschel für die vom 28. November bis 13. December beobachteten Sternschnuppen und deshalb nicht mit den unsrigen vergleichbar. Alle diese Radiationen sind durch die sehr kleine Periheldistanz der Ströme bemerkenswerth, aus denen sie hervorgehen.
- No. 176. Da die parabolischen Elemente unserer Tabelle mit der entsprechenden des Biela'schen Kometen genügend übereinstimmen, so habe ich ebenfalls für diesen Strom elliptische Elemente hergeleitet, indem ich 3,525 als halbe grosse Axe der Bahn annahm. Die Vergleichung beider Elemente ist folgende:

|                          | Strom No. 176<br>(30. Novbr.) | Biela's Komet 1852<br>(Elemente von Hubbard) |
|--------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------|
| L. des Perihels          | $103^\circ$                   | $109,01$                                     |
| L. des aufsteig. Knotens | 248                           | 245, 8                                       |
| Neigung                  | 15                            | 12, 6                                        |
| Periheldistanz           | 0,918                         | 0,860                                        |
| Excentricität            | 0,740                         | 0,756                                        |
| Bewegung                 | rechtläufig                   | rechtläufig.                                 |

Die Differenzen sind der Art, dass man sie in diesem Falle der Unsicherheit der Position des Radianten der Sternschnuppen wohl zuschreiben kann. Der Radiant des Kometen, welcher im Jahre 1852 nach Weiss in dem Punkte  $23^\circ + 43^\circ$  war, steht in der That nur ungefähr  $7^\circ$  von der von uns angegebenen Position ab. Ich will bei dieser Gelegenheit bemerken, dass ich zur Bestimmung dieser Position nur 9 von Zezioli am Abend des



30. November 1867 von 7<sup>h</sup>. 27<sup>m</sup>. bis 9<sup>h</sup>. 7<sup>m</sup>. angestellte Beobachtungen habe verwenden können; zwei von ihnen gehören anderen Radianten an, die anderen sieben waren zwar genügend übereinstimmend, aber fast alle sehr weit vom Radianten entfernt, weshalb ein Fehler von 7° sicherlich angenommen werden kann. Noch ist zu bemerken, dass ich die Anziehung der Erde nicht berücksichtigt habe, welche aber hier den Radianten nicht viel hat verrücken können, da dieser während der Beobachtungen vom Zenith nur wenig entfernt war (s. Cap. IV). Es ist jetzt erwiesen, dass die Sternschnuppen dieses Radianten in der Bewegung des Knotens dem Biela'schen Kometen folgen; die Beziehung dieser Meteore mit dem Kometen, welche von Prof. d'Arrest vermuthet und von Prof. Weiss so schön erläutert worden ist, erlangt aus diesen wenigen Beobachtungen von Zezioli eine fast vollständige Gewissheit. Der Radiant A<sub>19</sub> von Heis gehört der ersten Hälfte des Decembers an und stimmt mit den früheren Positionen des Biela'schen Kometen überein. In seinem letzten Kataloge hat Greg keinen Punkt, welchen man mit dieser Radiation in Beziehung setzen könnte.

- No. 181. Dieser Punkt scheint mit No. 148 von Schmidt ( $130^{\circ} + 30^{\circ}$ ) in Verbindung zu stehen, ebenso wie mit einem anderen von Stillmann Masters 1866 bestimmten ( $136^{\circ} + 29^{\circ},5$ ), welchen ich von Schmidt in seiner mehrfach erwähnten Abhandlung aufgeführt finde. —
-



## Kapitel IV.

### Einwirkungen der Anziehung der Erde auf das Fallen der Sternschnuppen.

52. Die in dem vorhergehenden Kapitel entwickelten Beziehungen zwischen der Richtung und der Geschwindigkeit, mit welcher die Sternschnuppen der Erde begegnen, und der Lage ihrer Bahn in Bezug auf den Apex der Bewegung der Erde, würden vollständig genau sein, wenn die Erde, als anziehende Masse, nicht ihren Einfluss auf die Bahn der Meteore während des letzten Stadiums ihrer kosmischen Existenz ausübte, sei es, indem sie die Fallgeschwindigkeit der Meteore beschleunigt, oder indem sie ihre Bahn krümmt.

Weil die Wirkung der Anziehung der Erde jenseits der Mondbahn auf die Bahn der Meteore keine merkliche Störung ausüben kann, so will ich diese Bahn und die der Erde vor der Perturbation als geradlinig betrachten; ich will also annehmen, dass die Bogen der Erdbahn und der nicht gestörten Meteorbahn für die Ausdehnung, in welcher sie hier betrachtet werden, als gerade Linien angesehen werden können, und dass es erlaubt sei, die durch die Sonne ausgeübte Störung zu vernachlässigen. Die relative Bewegung kann hiernach als geradlinig betrachtet werden. Bezeichnet man mit  $u$  die nicht gestörte Geschwindigkeit des Meteors in dieser relativen Bewegung, nimmt man ferner an, dass  $u$  ebenfalls die Geschwindigkeit des Meteors im Unendlichen sei, (also diejenige, welche es hatte, ehe es in merklicher Weise die Einwirkung der Erdattraction verspürte); nennt man ferner  $g$  die Schwere in der Entfernung  $r$  vom Mittelpunkt, so dass die Anziehung in der Entfernung  $\varrho$   $g \frac{r^2}{\varrho^2}$  ist, endlich  $w$  die beschleunigte Geschwindigkeit in dem Punkte, welcher von dem Mittelpunkte der



Erde um die Grösse  $r$  entfernt ist; so hat man nach dem bekannten Lehrsatz der lebendigen Kräfte die Beziehung:

$$w^2 = u^2 + 2 \int_r^\infty g \frac{r^2}{\varrho^2} d\varrho = u^2 + 2gr \dots \dots \dots (1)$$

Wenn die Sternschnuppe auf die Erdoberfläche fällt, so kann man ohne erheblichen Fehler  $r$  gleich dem mittleren Radius der Erde setzen, also gleich 6364550 Met.; für diese Entfernung vom Mittelpunkt hat man  $g = 9,80$  Met.; hiernach wird die vorige Gleichung (1), wenn die Geschwindigkeiten  $w$  und  $u$  in Metern ausgedrückt werden:

$$w^2 = u^2 + 124745180 \dots \dots \dots (2)$$

Die Zahl 124745180 drückt hier aus, um wieviel das Quadrat der relativen Geschwindigkeit  $u$  vermöge der Anziehung der Erde wächst. Diese Ursache vermehrt mithin alle relativen Geschwindigkeiten, aber die kleineren im Verhältniss viel mehr als die grösseren. So wird die grösste relative Geschwindigkeit in der Richtung des Apex, welche wir oben (§. 44) gleich 70642 Met. gefunden haben, nach der Acceleration gleich 71520 Met., wächst also um nicht mehr als 878 Meter. Die kleinste Geschwindigkeit, welche dem, dem Apex entgegengesetzten Punkte entspricht, springt hingegen von 12120 Met. auf 16482 Met., nimmt also um 4362 Met. zu. Eine Wirkung der Anziehung der Erde besteht also darin, die Ungleichheit zwischen den grössten und kleinsten relativen Geschwindigkeiten zu vermindern. Ohne diese Anziehung würde nämlich dies Verhältniss 5,82 zu 1 sein, es reducirt sich aber durch dieselbe auf 4,34 zu 1. Man kann eine Vorstellung von der Art gewinnen, wie die hier betrachtete Acceleration in den verschiedenen Elongationen vom Apex variirt, wenn man die letzte Spalte der Tabelle des §. 44 betrachtet, welche für eine gewisse Zahl von Elongationen sowohl die einfache relative Geschwindigkeit  $u$ , als auch die beschleunigte giebt; für beide ist aber nicht das Meter, sondern die mittlere Bahngeschwindigkeit der Erde als Einheit angenommen; um sie in Meter auszudrücken, muss man sie noch mit 29261 Met. multipliciren.

Es ist wohl nicht erst nöthig hinzuzufügen, dass das Resultat der Formeln (1) und (2) sowohl für den centralen Fall gilt, bei welchem die Bahn der Sternschnuppen gegen den Mittelpunkt der Erde hin gerichtet ist, als auch für den excentrischen Fall, bei welchem die Sternschnuppe die Erde schief trifft, oder sie auch nur berührt: von solcher Allgemeinheit ist das oben angeführte Theorem der lebendigen Kräfte.

53. Um zu begreifen, wie sich die Bewegung der Sternschnuppen während ihres Falles krümmt, wollen wir diese Bewegung auf den Mittelpunkt der Erde beziehen, indem wir die



Wirkung der Sonne und des Mondes vernachlässigen, was uns wohl Jedermann gestatten wird. Nimmt man also die Erde als stillstehend an und schreibt man einer Sternschnuppe die relative Bewegung zu, so wird diese in einem Kegelschnitte vor sich gehen, welcher den Mittelpunkt der Erde als Brennpunkt hat; die Ebene dieser Bahn wird durch diesen Mittelpunkt und durch die gerade Linie gehen, welche die Richtung und Lage der relativen Bewegung darstellt, die stattfinden würde, wenn die Erde keine Anziehung ausübte. Ueberdies ist es klar, dass, da die Sternschnuppe zu uns aus den Himmelsräumen kommt, die relative Bahn eine Hyperbel sein wird und keine geschlossene Curve. Diejenige Asymptote dieser Hyperbel, welche sich dem vorderen Aste der Curve nähert <sup>89)</sup>, wird die Richtung der relativen Bewegung im Unendlichen sein; man kann sie ohne Weiteres mit der Geraden vertauschen, welche die Sternschnuppe in Bezug auf die Erde durchlaufen haben würde, wenn die Anziehung derselben nicht gewirkt hätte.

Da die Ebene der Hyperbel durch den Mittelpunkt der Erde geht, wenn diese als eine Kugel betrachtet wird, so wird diese Ebene für den Beobachter in dem Punkte, wo die herabfallende Sternschnuppe ihren Lauf vollendet, vertical sein. Die von der Anziehung der Erde herrührende Krümmung der Bahn findet also immer nach der verticalen Ebene statt, welche durch die Fallrichtung geht <sup>90)</sup>; da ferner die Bahn nothwendiger Weise concav gegen den Mittelpunkt der Erde ist, so wird die letzte, nämlich die von dem Beschauer beobachtete, Tangente, welche für ihn den Radiationspunkt bestimmt, mit der Verticalen einen kleineren Winkel bilden, als der andere entferntere Theil der Sternschnuppenbahn. Es sei O (Fig. 15) der Mittelpunkt der Erde, AB die Richtung, welche der nicht gestörte Strom haben würde, die also am Himmel die wahre Position des Radiationspunktes bezeichnet. Eine längs AB direct nach dem Mittelpunkt der Erde zu fallende Sternschnuppe wird keine Veränderung der Richtung, sondern nur der Geschwindigkeit erleiden. Diejenige Sternschnuppe hingegen, welche die Gerade QD parallel mit AB

<sup>89)</sup> Ich nenne so denjenigen Ast der Hyperbel, welchen das Meteor vor seinem Durchgange durch das Perigaeum beschreibt.

<sup>90)</sup> Streng genommen allerdings nicht nach einer durch den Endpunkt des Falles gehenden verticalen Ebene, sondern nach einer Ebene durch die Gerade zwischen dem Fallorte und dem Mittelpunkte der Erde, welche aber wegen der Ellipticität unserer Erdkugel nur wenig von einer verticalen Ebene abweicht. In Zukunft kann man stets diese kleine Differenz vernachlässigen und die scheinbare Bahn der Meteore auf das astronomische Zenith, statt auf das geocentrische, wie man eigentlich müsste, beziehen.



beschreibt, wird dagegen so weit abgelenkt, dass sie die Hyperbel SMF beschreibt, von welcher O der Brennpunkt und QD die Asymptote an dem vorderen Zweige ist. Sie wird die Erde in M treffen, und der Beobachter wird glauben, dass sie in der Richtung VM herabkommt, während die wahre, nicht gestörte Richtung in Wirklichkeit NM parallel mit AB war. Man findet also den Radiationspunkt der Verticalen MZ um den ganzen Winkel NMV näher gerückt. Diesen Winkel will ich mit  $\varphi$  bezeichnen, und ihm den Namen Zenithattraction geben, um an die ihn hervorbringende Ursache und an die Richtung, nach welcher hin sie wirkt, zu erinnern. Die scheinbare Entfernung des Radianten vom Zenith des Beobachters wird  $VMZ = z$  sein, während die wahre hätte  $NMZ = \zeta$  sein müssen. Für einen gegebenen Sternschnuppenstrom ist nun leicht die wahre Zenithdistanz aus der scheinbaren abzuleiten, und umgekehrt. Im ersteren Falle kann man für diesen Zweck die Formeln anwenden:

$$\zeta = z + \varphi; \text{ tang. } \frac{1}{2} \varphi = \frac{w - u}{w + u} \text{ tang. } \frac{1}{2} \zeta \dots \dots \dots (3)$$

Die Lösung des umgekehrten Problems erfolgt durch die Formel

$$w \sin. (z - \frac{1}{2} \zeta) = u \sin. \frac{1}{2} \zeta \dots \dots \dots (4),$$

wo  $u$  und  $w$  dieselbe Bedeutung wie im vorigen § haben, und die einfache relative und die beschleunigte Fallgeschwindigkeit darstellen. Den Beweis dieser Formeln, welche einfacher sind, als das Problem erwarten lässt, findet man in der vierten Note am Ende dieses Werkes. Die Anwendung derselben ist für die Theorie der Sternschnuppenbahnen von Wichtigkeit, zu deren Berechnung man die wahren Positionen der Radianten, und nicht die scheinbaren, anwenden muss. Um aber diese Berechnung vornehmen zu können, muss man zuvor die nicht gestörte relative Geschwindigkeit  $u$  kennen, also auch die Bahn des Sternschnuppenstromes im Raume. Für diesen Zweck wird indess eine angenäherte Kenntniss dieser Bahn genügen, wie man sie z. B. für die Sternschnuppenströme von Zezioli aus unserer Tabelle ihrer Bahnen erhalten kann, welche auf nicht ganz genaue Positionen der Radianten gestützt ist.

Zur Erläuterung wählen wir die in England angestellten Beobachtungen des Radiationspunktes der Sternschnuppen des Novembers 1866. Für Greenwich fand das Maximum der Erscheinungen, bei der Annahme, dass es dem Zeitpunkte, in welchem der Radiationspunkt bestimmt wurde, entspricht, am



14. November 13<sup>h</sup>. 12<sup>m</sup>. mittlerer Zeit statt; in diesem Zeitpunkt wurde die Zenithdistanz des Radiationspunktes zu  $64^{\circ} 45',3$  bestimmt, und dies ist der Werth von  $z$ . Aus der schon vorher bekannten Bahn der Meteore<sup>91)</sup> leitete ich die nicht perturbirte relative Geschwindigkeit  $u = 69363$  Meter in der Secunde her; aus dieser folgt mittelst der Formel (2) die wirkliche Fallgeschwindigkeit  $w = 70257$  Meter. Man erhält aldann aus (3)  $\varphi = 27',9$ ; um so viel hat die Anziehung der Erde den Radianten während der Beobachtungen dem Zenith genähert<sup>92)</sup>. Hieraus folgt die wahre Zenithdistanz  $\zeta = 65^{\circ} 13',2$ ; an die beobachteten Coordinaten des Radianten muss man die Correctionen  $+ 20'$  in AR und  $- 20'$  in Decl. anbringen. Diese genaue Position muss man für die Berechnungen anwenden; ich brauche wohl nicht erst daran zu erinnern, dass bei allen die Bahnen betreffenden Untersuchungen für die relative Geschwindigkeit die nicht gestörte Geschwindigkeit  $u$ , und nicht die beschleunigte  $w$  zu nehmen ist. Diese letztere müsste aus den directen Beobachtungen sich ergeben, wenn es möglich wäre, sie auf diesem Wege herzuleiten.

54. Bei Betrachtung eines bestimmten Sternschnuppenschauers sind die Grössen  $u$  und  $w$  für alle seine Elemente gleich, in wie schräger Richtung diese auch die Erdoberfläche treffen mögen. Dies geht ohne Weiteres aus dem im §. 52 Gesagten hervor. Die Betrachtung der Formel (3) zeigt alsdann sofort, dass die Zenithattraction für die verschiedenen Elemente eines und desselben Sternschnuppenschauer eine Function einzig und allein von  $z$  ist. Diese Attraction ist Null, wenn  $z = 0$  ist, wenn also die Sternschnuppe längs der Verticalen herabfällt, wie AB (Fig. 17), sie nimmt aber für die Bahnen A' B', A'' B'' zu, welche die Erde in schrägerer Richtung treffen; sie erreicht ihren grössten Werth für die Sternschnuppen, welche die Erdoberfläche wie SMF streifen; in diesem Falle hat man offenbar  $z = 90^{\circ}$ . Die Zenithattraction wirkt also auf die Radiationspunkte der Sternschnuppenströme ungefähr so, wie die Refraction auf die Oerter der Sterne; sie ist Null im Zenith und von diesem Punkte an wächst sie bis zum Horizont, wo sie den grössten Werth erreicht. Nennt man  $\Phi$  diesen grössten Werth, so kann man ihn aus (3) berechnen, wobei man  $z = 90^{\circ}$  setzt, alsdann ist:

<sup>91)</sup> Astronom. Nachricht. No. 1629. Bulletino meteorologico del R. P. Secchi, t. VI pag. 9.

<sup>92)</sup> In der ersten Ausgabe der „Note e Riflessioni“ etc. hatte ich  $11',5$  anstatt  $27',9$  gefunden; dies rührt von einem damals von mir begangenen Rechenfehler her.



$$\text{tang } \frac{1}{2} \Phi = \frac{w - u}{w + u}$$

oder auch:

$$\text{tang } (45^\circ - \frac{1}{2} \Phi) = \frac{u}{w} \dots (5).$$

Das Phänomen der Zenithattraction der Radiationspunkte ist nicht für alle Sternschnuppenströme identisch; es zeigt sich in der grössten Intensität für diejenigen Ströme, welche von den dem Apex entgegengesetzten Radiationspunkten herkommen; die kleinste Intensität findet für die Ströme statt, welche von den Radiationspunkten in der Nähe des Apex ausgehen. In ersterem Falle haben wir gefunden

$$u = 12120 \text{ Met.}, w = 16482 \text{ Met.};$$

hieraus folgt  $\Phi = 17^\circ 20'$ : der Radiationspunkt wird also eben im Horizonte aufzugehen scheinen, wenn er sich in Wahrheit noch  $17^\circ 20'$  unter demselben befindet. Erreicht dieser Radiationspunkt das Zenith, so wird die Zenithattraction Null sein; man sieht also, dass das Radiationscentrum, wenn es vermöge der täglichen Bewegung von dem Horizont bis zum Zenith versetzt wird, allein durch diese Wirkung um  $17^\circ 20'$  unter den Sternen verschoben zu werden scheint. Dieser Umstand trägt dazu bei, die an sich schon nicht einfachen Erscheinungen der Sternschnuppenschauer noch viel mehr zu verwickeln. Die Bewegung der Radiationspunkte kann noch grösser werden, wenn man die Positionen vor und nach der Culmination vergleicht. So wird für einen Beobachter unter dem Aequator ein dem Apex entgegengesetzter Radiationspunkt, dessen Declination = 0 ist, in seiner täglichen Bewegung den ersten Vertical beschreiben: auf diesem wird er in der Zwischenzeit zwischen dem Auf- und Untergehen einen Bogen von  $34^\circ 40'$  durchlaufen. Diese Wirkungen können unter besonderen Umständen noch grösser sein, wenn man z. B. Ströme mit Bahnen von kurzer Umlaufszeit hat, welche eine rechlängige und eine, der der Erde, parallele Bewegung besitzen<sup>93)</sup>.

---

<sup>93)</sup> Für einen rechlängigen Strom z. B., welcher eine Bahn von kurzer Umlaufszeit, gleich der des Biela'schen Kometen, beschreibt und der sich parallel mit der Erde fortbewegt, wird, wenn man die halbe grosse Axe  $a = 3,5$  setzt, die relative Geschwindigkeit in Bezug auf die Erde nur  $u = 9042$  Met. sein, die accelerirte aber, mit welcher wir ihn von den, dem Apex entgegengesetzten Punkte herabfallen sehen,  $w = 14370$  Met.; hieraus kann man den Werth der Zenithattraction im Horizonte  $\Phi = 25^\circ 38'$  ableiten. Wenn wir nun die oben erwähnten Umstände annehmen, nämlich, dass der Radiationspunkt sich auf dem Himmelsäquator



Die Zenithattraction nimmt aber bei der Entfernung der Radiationspunkte von dem Anti-Apex schnell ab. Für die Punkte, welche  $90^\circ$  vom Apex entfernt sind, hat man  $\Phi = 3^\circ 58'$ , endlich für diejenigen, welche mit dem Apex selbst zusammenfallen, ist  $\Phi = 0^\circ 42'$ . Die Verrückung der Radiationspunkte wird aber im Allgemeinen während der Zeit der Beobachtungen viel kleiner als der grösste Werth von  $\Phi$  sein; denn man kann die Bestimmung der Radiationspunkte nur dann gut ausführen, wenn sie eine beträchtliche Höhe über dem Horizonte haben. Erwägt man diese Umstände und den Grad der Genauigkeit, welchen man bei dieser Art von Beobachtungen erreichen kann, so wird man, wie ich glaube, wohl als allgemeine Regel aufstellen können, dass man für alle diejenigen Radianen, welche vom Apex um mehr als  $90^\circ$  entfernt sind, die von der Zenithattraction herrührende Bewegung in Rechnung ziehen muss. Man wird nun begreifen, von welcher Wichtigkeit für die Bestimmung der Radiationspunkte die Notirung der Zeit ist, zu welcher man die scheinbaren Bahnen der Meteore auf den Planisphären eingezeichnet hat.

55. Die für die Berechnung der Zenithattraction gegebenen Formeln sind so einfach und bequem, dass es überflüssig erscheinen könnte, Tabellen zu berechnen, um ihren Gebrauch zu vermeiden. Ich will dennoch hier eine solche Tabelle im Auszuge geben, nicht in der Absicht, die Rechnung zu erleichtern, sondern damit der Leser sich eine richtige Vorstellung von der Wichtigkeit und dem Gesetze dieser Correction bilden und mit einem Blicke im Stande sein kann, zu beurtheilen, ob es nöthig sei, oder nicht, dieselbe in Rechnung zu ziehen. Diese Tabelle hat doppelte Argumente und ist der Art berechnet worden, dass man die scheinbare Elongation des Radianen vom Apex und seine scheinbare Entfernung vom Zenith zu der Beobachtungszeit als Argumente genommen hat. Die hieraus gefundene Zenithattraction muss man immer zu der scheinbaren Zenithdistanz des Radianen addiren, um die wahre oder correcte Distanz zu erhalten.

---

und der Beobachter auf dem Erdäquator sich befindet, so kann die Verrückung des Radiationspunktes unter den Sternen, von seinem Aufgange bis zum Untergange, bis auf  $51^\circ 16'$  steigen, eine wirklich enorme Grösse.



Tabelle der Zenithattraction der Radianten nach der parabolischen Hypothese.

| Scheinbare Elongation vom Apex. | $\log \frac{u}{w}$ | Scheinbare Zenithdistanz des Radianten. |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
|---------------------------------|--------------------|-----------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                                 |                    | $z = 0^\circ$                           | $z = 10^\circ$ | $z = 20^\circ$ | $z = 30^\circ$ | $z = 40^\circ$ | $z = 50^\circ$ | $z = 60^\circ$ | $z = 70^\circ$ | $z = 80^\circ$ | $z = 90^\circ$ |
| 0°                              | 9,99463            | 0°. 0'                                  | 0°. 4'         | 0°. 7'         | 0°. 11'        | 0°. 15'        | 0°. 20'        | 0°. 24'        | 0°. 30'        | 0°. 36'        | 0°. 42'        |
| 12                              | 9,99447            | 0. 0                                    | 0. 4           | 0. 8           | 0. 12          | 0. 16          | 0. 20          | 0. 25          | 0. 31          | 0. 37          | 0. 44          |
| 24                              | 9,99394            | 0. 0                                    | 0. 4           | 0. 8           | 0. 14          | 0. 17          | 0. 22          | 0. 28          | 0. 34          | 0. 40          | 0. 48          |
| 36                              | 9,99291            | 0. 0                                    | 0. 5           | 0. 10          | 0. 15          | 0. 20          | 0. 26          | 0. 32          | 0. 39          | 0. 47          | 0. 56          |
| 48                              | 9,99116            | 0. 0                                    | 0. 6           | 0. 12          | 0. 19          | 0. 25          | 0. 33          | 0. 40          | 0. 49          | 0. 59          | 1. 10          |
| 60                              | 9,98824            | 0. 0                                    | 0. 8           | 0. 16          | 0. 25          | 0. 34          | 0. 43          | 0. 53          | 1. 5           | 1. 18          | 1. 33          |
| 72                              | 9,98344            | 0. 0                                    | 0. 11          | 0. 23          | 0. 35          | 0. 47          | 1. 1           | 1. 15          | 1. 31          | 1. 49          | 2. 11          |
| 84                              | 9,97573            | 0. 0                                    | 0. 17          | 0. 34          | 0. 51          | 1. 10          | 1. 30          | 1. 51          | 2. 14          | 2. 41          | 3. 12          |
| 96                              | 9,96415            | 0. 0                                    | 0. 25          | 0. 50          | 1. 16          | 1. 23          | 2. 12          | 2. 44          | 3. 19          | 3. 58          | 4. 43          |
| 108                             | 9,94852            | 0. 0                                    | 0. 36          | 1. 12          | 1. 49          | 2. 28          | 3. 10          | 3. 55          | 4. 45          | 5. 41          | 6. 46          |
| 120                             | 9,92975            | 0. 0                                    | 0. 49          | 1. 38          | 2. 29          | 3. 36          | 4. 19          | 5. 20          | 6. 29          | 7. 45          | 9. 14          |
| 132                             | 9,91033            | 0. 0                                    | 1. 2           | 2. 5           | 3. 9           | 4. 17          | 5. 30          | 6. 48          | 8. 15          | 9. 54          | 11. 44         |
| 144                             | 9,89268            | 0. 0                                    | 1. 14          | 2. 29          | 3. 46          | 5. 7           | 6. 34          | 8. 7           | 9. 53          | 11. 47         | 14. 1          |
| 156                             | 9,87855            | 0. 0                                    | 1. 24          | 2. 48          | 4. 16          | 5. 47          | 7. 26          | 9. 10          | 11. 7          | 13. 18         | 15. 49         |
| 168                             | 9,86957            | 0. 0                                    | 1. 30          | 3. 1           | 4. 34          | 6. 13          | 7. 58          | 9. 52          | 11. 55         | 14. 15         | 16. 57         |
| 180                             | 9,86650            | 0. 0                                    | 1. 32          | 3. 5           | 4. 41          | 6. 21          | 8. 8           | 10. 4          | 12. 11         | 14. 35         | 17. 20         |

NB. Für die Ströme von parabolischer Bahn kann man sowohl mit der scheinbaren Elongation vom Apex, als mit  $\log. \frac{u}{w}$  in die Tabelle eingehen: für die elliptischen oder hyperbolischen Bahnen muss man mit  $\log. \frac{u}{w}$  in die Tabelle eingehen.



56. Wenn die Beobachtungen, welche zur Bestimmung der Position eines Radianten gedient haben, einen kurzen Zeitraum umfassen (z. B. eine halbe oder ganze Stunde), so kann man die Variation der Position des Radianten, welche er in diesem Zeitraume erfahren kann, vernachlässigen und nur seine mittlere Position berücksichtigen. In diesem Falle wird es nach Bestimmung des Radianten auf der Karte der Bahnen genügen, seinen Ort zu corrigiren, indem man an die beiden Coordinaten desselben die Wirkung der für den mittleren Zeitpunkt der Beobachtungen berechneten Zenithattraction anbringt, wie es in dem oben erwähnten Beispiele der zu Greenwich im Jahre 1866 beobachteten Leoniden geschehen ist. Verwickelter wird die Untersuchung, wenn die Beobachtungen viele Stunden angedauert haben und der Radiant zu den vom Apex entfernten gehört und deshalb einer beträchtlichen Verrückung am Himmel unterworfen ist. Man muss alsdann erwägen, dass jedem Meteor eine scheinbare, jedesmal von der wahren verschiedene Position des Radianten entspricht; da die von der Zenithattraction herrührende Verrückung mehrere Grade erreicht, so kann eine an sich sehr genaue Radiation ungeordnet erscheinen, und eine Anwendung des vorigen Verfahrens auch auf eine Reihe von sehr guten Beobachtungen würde schliesslich ein mittelmässiges Resultat ergeben. In diesem Falle muss man für jedes einzelne Meteor die Zenithattraction in Rechnung ziehen. Dies geschieht nach folgendem Verfahren, das wir an einem Beispiele erläutern wollen.

Am Abend des 28. Januar 1868 beobachtete Zezioli zu Bergamo ( $45^{\circ} 42'$  n. Br.) dreizehn Meteore, die dem Radianten Nr. 19 der Tabelle am Ende des dritten Capitels angehörten; diese Beobachtungen sind:

| Nr. | mittlere<br>Ortszeit           | Anfang          |                   | Ende            |                  | Grösse |
|-----|--------------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|------------------|--------|
|     |                                | AR.             | Decl.             | AR.             | Decl.            |        |
| 1   | 7 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup> | 65 <sup>0</sup> | + 16 <sup>0</sup> | 63 <sup>0</sup> | + 3 <sup>0</sup> | 5      |
| 2   | 7 51                           | 288             | + 66              | 274             | + 55             | 3      |
| 3   | 8 6                            | 133             | + 23              | 143             | + 16             | 5      |
| 4   | 8 21                           | 100             | + 11              | 106             | + 4              | 5      |
| 5   | 8 26                           | 84              | + 4               | 86              | — 4              | 3      |
| 6   | 8 28                           | 67              | + 14              | 72              | + 6              | 4      |
| 7   | 8 35                           | 58              | + 8               | 55              | — 18             | 3      |
| 8   | 8 43                           | 62              | + 20              | 64              | + 18             | 4      |
| 9   | 9 20                           | 77              | + 18              | 79              | + 10             | 5      |
| 10  | 10 0                           | 76              | + 23              | 59              | + 24             | 3      |
| 11  | 10 17                          | 54              | + 22              | 27              | — 13             | 2      |
| 12  | 10 20                          | 90              | + 21              | 107             | + 18             | 2      |
| 13  | 10 17                          | 53              | + 24              | 32              | + 21             | 4      |



Diese Beobachtungen dehnen sich über einen Zeitraum von fast drei Stunden aus, und der Radiant ist unter allen von Zezioli beobachteten am weitesten vom Apex entfernt; seine Zenithattraction am Horizonte übersteigt  $15^{\circ}$ . Zeichnet man die oben angeführten Bahnen auf eine Karte in gnomischer Projection, so findet man mit einem Blicke, dass der Radiant von dem Punkte:

$$AR = 67^{\circ}, \text{Decl.} = + 25^{\circ}$$

nicht weit entfernt sein kann; dies ist aber die in unserer Tabelle der Sternschnuppenradiationen gegebene Position. Um eine erste genauere Position zu erhalten, wollen wir zunächst die Zenithdistanz des erwähnten Punktes für  $8^h 57^m$  mittlere Ortszeit, welche das Mittel aus allen Zeiten der einzelnen Beobachtungen ist, berechnen; wir werden finden  $z = 23^{\circ} 34'$ . Hieraus leitet man die Zenithattraction für diesen Zeitpunkt  $\varphi = 3^{\circ} 9'$  ab; die Correction in AR beträgt hiernach  $- 1^{\circ} 26'$ , die in Declination  $- 2^{\circ} 52'$ . Nehmen wir also als Grundlage der weiteren Rechnungen folgende schon mehr angenäherte Position des Radianten an:

$$AR = 65^{\circ} 34', \text{Decl.} = + 22^{\circ} 8',$$

so erhält man hieraus:

|                                                    |            |
|----------------------------------------------------|------------|
| Länge des Radianten . . . . .                      | 67° 38'    |
| Breite . . . . .                                   | + 0 37     |
| Länge des Apex . . . . .                           | 217 48     |
| Scheinbare Elongation vom Apex . . . . .           | 150 10     |
| Geschwindigkeit der Erde . . . . .                 | 1,01501    |
| Parabolische Geschwindigkeit der Meteore . . . . . | 1,41495    |
| Wahre Elongation vom Apex . . . . .                | 170° 57'   |
| Relative Bahngeschwindigkeit (in Metern) . . . . . | 13172 Met. |
| Beschleunigte Geschwindigkeit . . . . .            | 17277 Met. |
| Zenithattraction am Horizont . . . . .             | 15° 19'    |

Mit diesen letzten Elementen kann man leicht die Curve berechnen, welche die scheinbare Position des Radianten unter den Sternen während einer täglichen Umdrehung der Erde durch die Wirkung der Erdanziehung beschreibt. In der folgenden Tabelle ist die scheinbare Position des Radianten von Stunde zu Stunde (in Sternzeit) in Bezug auf die wahre Position gegeben; ein Ort ist auf den andern nach derselben Methode bezogen, welche man bei dem Beziehen des Ortes des Trabanten eines Doppelsternes auf seinen Hauptstern anwendet, nämlich vermittelt der Distanzen und der Positionswinkel, die von N. durch O. und S. bis W. gezählt werden.



| 1868.<br>Mittlere Ortszeit                | Stunden-<br>winkel<br>des<br>Radianten | Zenithdistanz       |                     | Scheinbarer Ort des<br>Radianten, bezogen<br>auf den wahren. |                   |
|-------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------|
|                                           |                                        | wahre               | schein-<br>bare     | Distanz                                                      | Position          |
| 28. Januar 7 <sup>h</sup> 53 <sup>m</sup> | 0 <sup>0</sup>                         | 23 <sup>0</sup> 34' | 20 <sup>0</sup> 45' | 2 <sup>0</sup> 49'                                           | 0 <sup>0</sup> 0' |
| 8.53                                      | 15                                     | 26.33               | 23.22               | 3.11                                                         | 23.51             |
| 9.53                                      | 30                                     | 33.54               | 29.48               | 4. 6                                                         | 38.45             |
| 10.53                                     | 45                                     | 43.21               | 38. 3               | 5.18                                                         | 46. 0             |
| 11.53                                     | 60                                     | 53.37               | 46.56               | 6.41                                                         | 48.42             |
| 12.53                                     | 75                                     | 64. 5               | 55.55               | 8.10                                                         | 48.36             |
| 13.52                                     | 90                                     | 74.21               | 64.38               | 9.43                                                         | 46.29             |
| 14.52                                     | 105                                    | 84. 8               | 72.49               | 11.19                                                        | 42.42             |
| 15.52                                     | 120                                    | 93. 5               | 80. 9               | 12.56                                                        | 37.17             |
| 16.52                                     | 135                                    | 100.50              | 86.25               | 14.25                                                        | 30.11             |
| 17.52                                     | 150                                    | 106.53              | 91.15               | 15.38                                                        | 21.24             |
| 18.52                                     | 165                                    | 110.48              | 94.19               | 16.29                                                        | 11. 9             |
| 19.51                                     | 180                                    | 112.10              | 95.22               | 16.48                                                        | 0. 0              |
| 20.51                                     | 195                                    | 110.48              | 94.19               | 16.29                                                        | — 11. 9           |
| 21.51                                     | 210                                    | 106.53              | 91.15               | 15.38                                                        | — 21.24           |
| 22.51                                     | 225                                    | 100.50              | 86.25               | 14.25                                                        | — 30.11           |
| 23.51                                     | 240                                    | 93. 5               | 80. 9               | 12.56                                                        | — 37.17           |
| 29. Januar 0.51                           | 255                                    | 84. 8               | 72.49               | 11.19                                                        | — 42.42           |
| 1.50                                      | 270                                    | 74.21               | 64.38               | 9.43                                                         | — 46.29           |
| 2.50                                      | 285                                    | 64. 5               | 55.55               | 8.10                                                         | — 48.36           |
| 3.50                                      | 300                                    | 53.37               | 46.56               | 6.41                                                         | — 48.42           |
| 4.50                                      | 315                                    | 43.21               | 38. 3               | 5.18                                                         | — 46. 0           |
| 5.50                                      | 330                                    | 33.54               | 29.48               | 4. 6                                                         | — 38.45           |
| 6.50                                      | 345                                    | 26.33               | 23.22               | 3.11                                                         | — 23.51           |
| 7.49                                      | 360                                    | 23.34               | 20.45               | 2.49                                                         | — 0. 0            |

Mit Hülfe der beiden letzten Spalten dieser Tabelle war es möglich, in Fig. 16, die in einem Sterntage von dem scheinbaren Radianten in Bezug auf die Position O des wahren Radianten durchlaufene Curve zuzeichnen. Die Linie ON giebt die Richtung des Nordpols des Himmels an. Diese Curve ist eine Art von Oval, das von einem Kreise nicht sehr verschieden ist; projecirt man sie stereographisch (oder auch gnomonisch) auf eine Ebene, welche die Kugel in O tangirt, so erhält man eine ebene Curve vom vierten Grade. Die wahre Position des Radianten liegt ausserhalb des Ovals; dies findet allemal statt, wenn der himmlische Parallel des Radianten südlich vom Zenith des Beobachtungsortes liegt. Für die Radianten, welche zwischen dem Zenith und dem Nordpol culminiren, ist die wahre



Position O innerhalb des Ovals. Culminirt endlich der Radiant genau im Zenith, so ist der wahre Radiant O einer der Punkte des Ovals.

Jeder Punkt des Ovals giebt die scheinbare Position des Radianten für einen Augenblick des Tages: man kann daher das Oval in 24 Stunden eintheilen, um für jeden Augenblick, in welchem die verschiedenen Meteore beobachtet sind, die scheinbare Position des Radianten sofort angeben zu können. Obgleich wir hier zur Befriedigung der Wissbegierde des Lesers das ganze Oval gezeichnet haben, so genügt es für die praktische Anwendung, welche wir davon machen wollen, den Bogen zwischen  $7^h 30^m$  und  $10^h 27^m$  zu haben, da in diesen Zeitraum die Beobachtungen aller Meteore des Registers fallen. Endlich ist zu bemerken, dass nicht das ganze Oval den sichtbaren Positionen des scheinbaren Radianten entspricht, sondern nur der Theil zwischen der Stunde, in welcher man am 28. Januar unter der Breite von Bergamo die Meteore zu beobachten anfangen kann (ungefähr  $6^h 30^m$ ), und dem Punkte, welcher dem Untergange des Radianten entspricht, ungefähr  $17^h 30^m$ . Die Beobachtungen am Morgen sind in dieser Jahreszeit unter der erwähnten Breite noch bis  $18^h 30^m$  möglich <sup>94</sup>). Der Bogen des Ovals, welcher sich vom Untergange des Radianten bis zu dem darauf folgenden Aufgange erstreckt, ist punktirt, weil er den unter dem Horizonte befindlichen Positionen des Radianten entspricht; dieser Bogen hat eine nur theoretische Bedeutung und giebt die Positionen an, welche der Radiant einnehmen würde, wenn die Erde für die Meteore nicht undurchdringlich wäre, und wenn diese den Beobachter erreichen könnten, nachdem sie die Masse der Erde durchstrichen hätten. (Siehe hierüber die vierte Note.)

57. Man zeichne nun das oben erwähnte Oval auf die Oberfläche einer Kugel, indem man die wahre Position des Radiationspunktes, welche wir für einen bekannten Zeitpunkt annehmen, als Pol O setzt (dies kann man auf der Kugel genauer als auf der Ebene thun, indem die Coordinaten der Punkte des obenerwähnten Ovals sphärische Polarcoordinaten sind); bei dieser Zeichnung hat man als Regel, dass die Linie ON mit dem Declinationskreise zusammenfällt und nach dem Pole hin gerichtet ist. Wenn O die richtige Position hat, wenn ferner die Radiation vollkommen ist, in ihrer Gesamtheit also von einem Punkte aus divergirt, und wenn die Be-

---

<sup>94</sup>). Es ist eine unzweifelhafte Thatsache, dass man die Sternschnuppen viel besser in der Morgendämmerung, als in der Abenddämmerung beobachten kann. Dies rührt vielleicht zum Theil davon her, dass des Morgens eine viel grössere Zahl von glänzenden Meteoren sichtbar ist. S. Cap. VI.



obachtungen von absoluter Genauigkeit sind, so muss offenbar jede durch ihre Coordinaten auf der Kugel beschriebene und rückwärts verlängerte Bahn das Oval in dem Punkte schneiden, welcher der Zeit entspricht, in der das entsprechende Meteor beobachtet worden ist. Wenn man nun das Oval auf der Kugel beweglich macht, (man zeichne es z. B. auf eine durchsichtige, gekrümmte Scheibe, welche sich genau an die Convexität der Kugel anschmiegt <sup>95)</sup>, so kann man offenbar die Position des wahren Radianten finden, auch wenn sie nicht bekannt ist, indem man das Oval selbst auf der Kugel versuchsweise hin und her schiebt, bis die beschriebene Coincidenz der Bahnen mit den, auf dem Oval bezeichneten, entsprechenden Zeiten für alle beobachteten Meteore stattfindet. Bei dieser Bewegung muss das Oval seine Orientirung beibehalten, d. h. die Axe ON muss constant nach den Polen der Kugel gerichtet sein.

Da man ferner wegen der Unvollkommenheit fast aller Radiationen und noch mehr wegen der unvermeidlichen Beobachtungsfehler unmöglich eine solche Lage des beweglichen Ovals finden kann, welche die Coincidenz der einzelnen Bahnen mit den entsprechenden Punkten der Curve veranlasst, so wird man sich darauf beschränken müssen, diejenige Lage zu suchen, welche die grösstmöglichen Annäherungen hervorbringt. Das Problem ist also eigentlich dasselbe, als wenn man den Radianten auf der Himmelskugel fest annimmt; der einzige und nicht unwichtige Unterschied besteht darin, dass man, anstatt die Entfernungen aller Bahnen von einem und demselben Punkte abzuschätzen, hier die Entfernungen der Bahnen von den entsprechenden Punkten der Curve untersuchen muss.

Will man das lästige Gefühl vermeiden, welches man stets bei einem Verfahren der willkürlichen Schätzung hegt, so könnte man auf das Problem die Methode der kleinsten Quadrate anwenden, indem man die Lage des Ovals auf die Weise bestimmt, dass die Summe der Quadrate der Entfernungen der Bahnen von den entsprechenden Punkten der Curve die kleinstmögliche ist; dies geschieht genau nach denselben Formeln und ohne viel grössere Mühe, als wenn es sich um einen festen Punkt gehandelt hätte. (S. fünfte Note.) Indem ich gerade dieses letztere Verfahren auf den oben betrachteten Radianten anwendete, fand ich, dass die wahr-

---

<sup>95)</sup>. Mit grösserer Leichtigkeit, aber mit geringerer Genauigkeit, kann man statt der Kugel eine Karte in gnomonischer Projection anwenden. Man kann alsdann das Oval auf ein durchsichtiges Blatt aufzeichnen und die Gestalt desselben der Projection der Karte anpassen.



scheinlichste Lage des Ovals diejenige ist, wenn der Pol O die Coordinaten hat:

$$AR = 64^{\circ},3 \quad \text{Decl.} = + 25^{\circ},3;$$

diese müssen als Ausdrücke für die wahrscheinlichste wahre Position des Radianten festgehalten werden, von welchem der Strom Nr. 19 unseres Kataloges ausgeht, wenn man auf die oben erwähnten Beobachtungen von Zezioli sich bezieht. Die Unsicherheit dieses Resultates ist aber noch sehr gross und gewisslich nicht geringer als die so eben mit so grosser Mühe ermittelten Verbesserungen; man kann dies aus den übrigbleibenden Distanzen der Bahnen an den entsprechenden Punkten des, in seine wahrscheinlichste Lage gerückten, Ovals beurtheilen:

|        |         |                    |        |         |                    |
|--------|---------|--------------------|--------|---------|--------------------|
| Nr. 1. | Distanz | 3 <sup>o</sup> , 0 | Nr. 8. | Distanz | 7 <sup>o</sup> , 4 |
| „ 2.   | „       | 5, 5               | „ 9.   | „       | 6, 3               |
| „ 3.   | „       | 10, 7              | „ 10.  | „       | 7, 2               |
| „ 4.   | „       | 8, 2               | „ 11.  | „       | 5, 6               |
| „ 5.   | „       | 11, 8              | „ 12.  | „       | 5, 0               |
| „ 6.   | „       | 6, 0               | „ 13.  | „       | 4, 1               |
| „ 7.   | „       | 4, 6               |        |         |                    |

Die Abweichungen sind, wie man sieht, sehr gross, und übertreffen die berechneten Correctionen. Dies rührt von dem diffusen Charakter der Radiationen her und vor Allem davon, dass viele von den beobachteten Meteoren in beträchtlicher Entfernung von dem Radiationspunkte erschienen (man findet hier Entfernungen von 60<sup>o</sup> und 70<sup>o</sup>); dieser Umstand trägt dazu bei, die Fehler über die Erwartung zu vergrössern.

58. Einwirkung der Anziehung der Erde auf die Zahl der in die Atmosphäre fallenden Sternschnuppen. Bei Betrachtung der Fig. 17 sieht man, dass viele Sternschnuppen, welche der Erde nicht begegnet wären, wenn sie ihre Bahn in geradliniger Richtung fortgesetzt hätten, in unserer Atmosphäre durch die Einwirkung der Schwere angezogen werden. Wenn wir uns vorstellen, dass die die Erdkugel tangirende Hyperbel SMF um die gerade Linie OA sich dreht, welche die nicht gestörte Richtung der Meteore angiebt, so wird sie ein Umdrehungs-Conoid beschreiben; dieses wird bei unendlicher Entfernung mit dem Cylinder zusammenfallen, welchen die ebenfalls um OA sich drehende Asymptote QD erzeugt. Die von den in die Atmosphäre eindringenden Sternschnuppen beschriebenen Bahnen werden sämmtlich in dem erwähnten Conoid enthalten sein; der Radius des von der Erde ausgehöhlten Cylinders wird OC sein; man überzeugt sich sofort, dass  $OC = r \frac{W}{u}$  sei. Wenn die Erde auf die Sternschnuppen



keine Anziehung ausübte, so würde der Radius des ausgehöhlten Cylinders gleich dem Erdradius sein; deshalb wird in Folge dieser Anziehung die Anzahl der von der Erde aufgehaltenen Sternschnuppen in dem Verhältniss der Flächen der geraden Schnitte der beiden Cylinder zunehmen, also in dem Verhältniss von  $w^2 : u^2$ , oder in dem des Quadrates der beschleunigten Geschwindigkeit  $w$  zu dem Quadrate der einfachen relativen Geschwindigkeit  $u$ . Diese Thatsache ist zuerst von Prof. Newton bemerkt worden<sup>96</sup>). Diese Zunahme ist für die mit kleiner Geschwindigkeit herabfallenden Ströme relativ sehr viel merklicher, als für die anderen; so erfolgt die Zunahme für die Ströme mit der grössten Geschwindigkeit in dem Verhältniss  $1 : \left(\frac{71520}{70642}\right)^2$ , oder wie 1 : 1,025; die Anzahl der Sternschnuppen nimmt also um ungefähr  $\frac{1}{40}$  in Bezug auf diejenige Zahl zu, welche wir ohne die Anziehung der Erde erhalten haben würden. Für die mit der kleinsten Geschwindigkeit herabfallenden Ströme gestaltet sich dagegen die Vermehrung in dem Verhältniss von  $1 : \left(\frac{16482}{12120}\right)^2$  oder von 1 : 1,849, die Anzahl der Sternschnuppen wird also fast verdoppelt. Deshalb wird unter gleichen Umständen der Reichthum der von dem Apex kommenden Ströme zu dem der Ströme, welche von der entgegengesetzten Richtung herkommen, sich verhalten, wie 1,025 zu 1,849, also wie 1 : 1,804, oder einfacher wie 5 : 9.

Man kann sich hierbei aber nicht verhehlen, dass wenn auch die Erde eine grössere Menge von Meteoren erhält, als die, welche ohne ihre anziehende Kraft ihrer Grösse entspricht, diese grössere Menge jedoch auch über eine grössere Ausdehnung, als eine Halbkugel einnimmt, sich vertheilen wird. Man sieht in der That aus Figur 17, dass alle in dem Segment NBM, welches in dem Verhältniss von BP zu BO, oder von  $1 + \sin. \phi : 1$  grösser ist, als die Halbkugel, enthaltenen Regionen von dem Sternschnuppenschauer durchzogen werden. Man kann also noch nicht sagen, dass die Menge der auf die Erde fallenden Meteore zunimmt, wie die Menge der einem gegebenen Beobachter sichtbaren oder auf eine Flächeneinheit von bestimmter Ausdehnung fallenden Sternschnuppen. Für weitere Untersuchungen kann aber die Erforschung des Gesetzes, nach welchem die Menge der Meteore in dem convergirenden Bündel von Hyperbeln, welche ihr Ende auf der Erde erreichen, variirt, von einigem Interesse sein, wie es z. B. Capitain

<sup>96</sup>) American Journal of Science vol. XXXIX p. 199.



Goulier <sup>97)</sup> und Prof. Hoek <sup>98)</sup> gethan haben. Hierzu gelangt man leicht durch Anwendung der in der vierten Note gegebenen Formeln. Es sei  $N$  die Anzahl der Meteore, welche ein gegebener sehr kleiner Theil der Erdoberfläche erhalten würde, wenn der Strom vertical zu dem Beobachter herabfiele und die Erdanziehung nicht wirkte; die Menge der Meteore auf derselben Oberfläche würde  $N \cos. z$  sein, wenn der Radiant von dem Zenith um die Grösse  $z$  entfernt wäre, und wenn man noch von der Erdschwere abstrahirte. Führt man aber dagegen die Einwirkung derselben ein, so muss die Grösse  $N \cos. z$  mit dem Condensationsfactor multiplicirt werden, also mit:

$$F = \frac{1}{2} \frac{w^2 \sin. z}{u^2 \sin. \zeta} \left( \frac{u \cos. \frac{1}{2} \zeta}{w \cos. (z - \frac{1}{2} \zeta)} + 1 \right)$$

wobei  $u$ ,  $w$ ,  $z$ ,  $\zeta$ , die früher angegebene Bedeutung haben. Damit man die Art und Weise der Veränderung dieses Factors und seinen Grad der Wichtigkeit beurtheilen kann, habe ich den Werth von  $F$  von  $10^0$  zu  $10^0$  der scheinbaren Zenithdistanz  $z$  für die beiden extremen Fälle berechnet, nämlich für die von dem Apex und für die von dem entgegengesetzten Punkte herkommenden Ströme. Man findet so:

|       | Für die von dem Apex herkommenden Ströme | Für die von dem Antiapex herkommenden Ströme |
|-------|------------------------------------------|----------------------------------------------|
| $z$   | $F =$                                    | $F =$                                        |
| $0^0$ | 1,0125                                   | 1,3923                                       |
| 10    | 1,0225                                   | 1,3929                                       |
| 20    | 1,0125                                   | 1,3944                                       |
| 30    | 1,0125                                   | 1,3971                                       |
| 40    | 1,0125                                   | 1,4015                                       |
| 50    | 1,0125                                   | 1,4079                                       |
| 60    | 1,0125                                   | 1,4176                                       |
| 70    | 1,0125                                   | 1,4322                                       |
| 80    | 1,0125                                   | 1,4889                                       |
| 90    | 1,0125                                   | 1,4925                                       |

Für die dem Apex sehr nahen Radianten ändert sich der Dichtigkeitsfactor nicht innerhalb der vierten Decimale, man kann sie auf der ganzen von dem Sternschnuppenschauer eingenommenen Oberfläche als absolut constant ansehen. Man

<sup>97)</sup> Études géométriques sur les étoiles filantes. Mémoires de l'Académie impériale de Metz 1866—1867.

<sup>98)</sup> On the Phenomena which a very extended swarm of Meteors coming from Space present after its entry into the Solar system. Monthly Notices of the R. Astr. Soc. 1868 March 13.



kann die Dichtigkeit daher ohne Weiteres erhalten, indem man das Verhältniss, in welchem die Anzahl der von der Erde festgehaltenen Meteore,  $\left(\frac{w^2}{u^2}\right)$ , zunimmt, durch das Verhältniss dividirt, in welchem die von ihnen eingenommene Fläche wächst, also durch  $1 + \sin. \Phi$ . Für die von dem Apex weit entfernten Radianten ist die Dichtigkeit etwas geringer, wenn der Radiant im Zenith ist, als wenn er sich im Horizonte befindet. Der Unterschied ist aber nicht so gross, als dass es auch hier nicht gestattet wäre, dasselbe Verfahren anzuwenden, um einen mittleren Dichtigkeitsfactor zu erhalten, welchen man in der Praxis als constant und als auf alle von dem Strome durchlaufenen Oerter anwendbar betrachten kann. In dem Falle, dass der Radiant mit dem Antiapex zusammenfällt, hat die Anzahl der von der Erde festgehaltenen Meteore in Folge der Anziehung derselben in dem Verhältniss von  $1 : 1,8492$  zugenommen. Die von dem Sternschnuppenschauer eingenommene Fläche ist aus derselben Ursache in dem Verhältniss von  $1 : 1,2980$  grösser geworden. Dividirt man  $1,8492$  durch  $1,2980$ , so hat man den mittleren Dichtigkeitsfactor  $1,4245$ ; dieser weicht aber von keinem der wahren partiellen Factoren um mehr als  $\frac{1}{21}$  seines Werthes ab.

Im Allgemeinen besteht also die Wirkung der Anziehung der Erde auf den Reichthum eines Sternschnuppenschauers darin, die stündliche Anzahl der aus ihm hervorgehenden Sternschnuppen in dem für jeden Schauer beinahe constanten

Verhältniss von  $1 : \frac{w^2}{u^2} \frac{1}{1 + \sin. \Phi}$ , oder auch von  $1 : \frac{u^2 + w^2}{2 u^2}$

zu vermehren. Da wir nun angenommen haben, dass für einen Beobachter, dessen Zenith von dem Radianten um die Grösse  $z$  entfernt ist,  $N \cos. z$  die stündliche (von der Erdanziehung nicht gestörte) Anzahl ist, so wird diese in Folge der

Erdanziehung  $N \cos. z \frac{u^2 + w^2}{2 u^2}$  sein. Wenn daher keine an-

deren Umstände eintreten würden, so würde die Menge der, von einem gegebenen und auf der Erde eine gegebene Oberfläche einnehmenden Strome herkommenden, Sternschnuppen sich verändern, wie die Intensität des Lichtes, der Wärme u. s. w., nämlich nach dem Cosinus der Zenithdistanz des Radiationspunktes.

59. Tägliche Aberration der Sternschnuppen. Diese Aberration rührt von der Rotationsbewegung des Beobachters um die Erdaxe her; ihre Formeln unterscheiden sich in nichts von denen der täglichen Aberrationen der Fixsterne.



Ist  $w$  die Fallgeschwindigkeit eines Sternschnuppenstromes,  $\omega$  die Rotationsgeschwindigkeit des Beobachters auf seinem irdischen Parallel;  $\theta$ ,  $\delta$  der Stundenwinkel und die Declination des Radiationspunktes im Augenblicke der Beobachtung, so muss man, um seine scheinbare Position von der täglichen Aberration zu befreien, an seine Rectascension  $\alpha$  und an seine Declination  $\delta$  die Correctionen

$$\Delta \alpha = - \frac{\omega}{w} \frac{\cos. \theta}{\cos. \delta}; \Delta \delta = - \frac{\omega}{w} \sin. \theta \sin. \delta$$

anbringen. Der grösste numerische Werth, welchen  $\Delta \alpha \cos. \delta$  und  $\Delta \delta$  erreichen kann, ist  $\frac{\omega}{w}$ ; diese Grösse kommt für einen Beobachter auf dem Aequator und für den kleinsten Werth von  $w$  ( $w = 16482$  Met.) der Winkelgrösse  $1^\circ 37'$  gleich. Für den Radiationspunkt der Sternschnuppen des 14. November 1866 unter dem Parallel von Greenwich war um  $13^h 12^m$  mittlerer Zeit  $\Delta \alpha = -3',2$  und  $\Delta \delta = +5',4$ . Es wird daher nur in seltenen Fällen nothwendig sein, die tägliche Aberration der Radiationspunkte zu berücksichtigen.

Die in Betracht kommende tägliche Aberration kann von dem Widerstande der Atmosphäre geschwächt oder auch fast vollständig vernichtet werden, wenn das Durchziehen durch dieselbe eine hinreichende Zeit dauert, wie ich schon früher bemerkt habe (Cap. I.). Bei Erwägung der kurzen Zeitdauer, welche die Sternschnuppen zu gebrauchen pflegen, um den atmosphärischen Theil ihrer Bahn zu durchlaufen, neigen wir uns der Ansicht zu, dass die Einwirkung des Widerstandes der Luft auf die tägliche Aberration wenig merklich und dass daher die Anbringung der Correction durch die Aberration in allen Fällen gerechtfertigt sei. Trotzdem werden weitere Untersuchungen über diesen Gegenstand immer wünschenswerth sein.

---



## Capitel V.

### Ueber die Ursachen, welche die Sichtbarkeit und die Reichhaltigkeit der Sternschnuppenschauer beeinflussen.

60. In diesem Capitel will ich einige Umstände untersuchen, von welchen der grössere oder geringere Reichtum der bei einer gegebenen Radiation zu beobachtenden Sternschnuppen abhängt. Wir haben schon vor Kurzem gesehen, dass zu diesen Umständen auch die Einwirkung der Erdanziehung gehört, durch welche die Reichhaltigkeit eines Sternschnuppenstromes immer vermehrt wird, in einem Verhältniss, welches zwischen 1,0125 und 1,4245 variiren kann (§. 58). Man kann dieses Verhältniss für ein und denselben Sternschnuppenstrom als constant betrachten; es ist daher im Wesentlichen in Folge der Ursache, deren Wirkung entwickelt worden ist, dasselbe, als wenn der Strom in Wirklichkeit dichter gewesen sei.

Betrachtet man ferner solche Radiationen, welche von dem Apex verschieden entfernt sind, so variirt der Condensationsfactor um eine merkliche Grösse. Nimmt man für einen gegebenen Sternschnuppenstrom als den mittleren Werth desselben den oben gefundenen Ausdruck  $\frac{w^2 + u^2}{2 u^2}$  an, so hat man für verschiedene Elongationen vom Apex das Gesetz des Fortschreitens dieses Factors in der zweiten Spalte der unten folgenden Tabelle.



| Scheinbare<br>Elongationen<br>vom Apex. | Mittlerer Con-<br>densations-<br>factor<br>F | Einfache<br>relative Ge-<br>schwindigkeit.<br>u | Producte der<br>beiden vor-<br>hergehenden<br>Factoren.<br>F u |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 0°                                      | 1,012                                        | 2,414                                           | 2,443                                                          |
| 12                                      | 1,013                                        | 2,377                                           | 2,408                                                          |
| 24                                      | 1,014                                        | 2,268                                           | 2,300                                                          |
| 36                                      | 1,017                                        | 2,095                                           | 2,131                                                          |
| 48                                      | 1,021                                        | 1,872                                           | 1,911                                                          |
| 60                                      | 1,028                                        | 1,618                                           | 1,663                                                          |
| 72                                      | 1,040                                        | 1,356                                           | 1,410                                                          |
| 84                                      | 1,059                                        | 1,110                                           | 1,175                                                          |
| 96                                      | 1,090                                        | 0,901                                           | 0,982                                                          |
| 108                                     | 1,134                                        | 0,738                                           | 0,837                                                          |
| 120                                     | 1,191                                        | 0,618                                           | 0,736                                                          |
| 132                                     | 1,256                                        | 0,534                                           | 0,671                                                          |
| 144                                     | 1,320                                        | 0,477                                           | 0,630                                                          |
| 156                                     | 1,375                                        | 0,441                                           | 0,606                                                          |
| 168                                     | 1,411                                        | 0,421                                           | 0,594                                                          |
| 180                                     | 1,425                                        | 0,414                                           | 0,590                                                          |

Die von den, dem Apex entgegengesetzten, Gegenden herkommenden Meteorströme werden also hiernach im Mittel beträchtlich reicher an Meteoren sein müssen, als die von den Gegenden um den Apex herum herkommenden. Dieser Ursache steht aber eine andere von entgegengesetzter und ohne Vergleich viel mächtigerer Wirkung gegenüber.

61. Die punktirten Linien der Fig. 18 stellen einen in dem Sinne der Linie MS rechtläufigen Meteorstrom vor. Es sei AB die Erdbahn, deren Bewegungsrichtung durch einen Pfeil angedeutet ist. Für die Geschwindigkeit der Erde  $Tt$  und die der Meteore  $Mt$  ist die Richtung der relativen Bewegung und des Radiationspunktes  $TM$ ; befindet sich die Erde in  $t$ , so wird sie den Sternschnuppenschauer so empfangen, als wenn er von der Richtung  $tx$  herkäme, und in der entgegengesetzten Richtung  $tp$  wird ein leerer cylindrischer Raum zurückbleiben, dessen Durchmesser gleich dem der Erde ist, vergrößert in dem Verhältniss der beschleunigten Geschwindigkeit  $w$  zu der einfachen relativen Geschwindigkeit  $u$  (§. 58). Ist die Erde in  $t'$  angelangt, so wird der cylindrische Raum länger geworden und nach  $t'p'$  verlegt worden sein. Geht die Erde aus dem Strome heraus, so wird der cylindrische Raum mit den Meteoren fortwandeln, und, wenn die Erde in  $t''$  angelangt ist, so wird er in  $qp''$  sein. Er wird fortwährend weiter fortrücken,



bis die kleinen Verschiedenheiten in den Geschwindigkeiten der Meteore und andere Umstände ihn umgeformt und angefüllt haben.

Es sei nun  $a$  die transversale Breite des Stromes, so wird die Länge des ausgehöhlten Cylinders  $qp''$  gleich sein  $a$ , multiplicirt mit der Cosecante des Winkels  $tMT$ , welchen die Axe des erwähnten Cylinders mit der Richtung  $MS$  des Stromes bildet. Da der Durchmesser des Cylinders von einem Strom zum andern wenig variirt, so wird die Anzahl der von der Erde aufgefangenen Sternschnuppen um so grösser sein, je kleiner der Winkel  $tMT$  ist; hieraus folgt, dass die von der Richtung des Apex und die von der entgegengesetzten Richtung her kommenden Ströme durch die Erde den grössten Verlust erleiden; dieser wird am kleinsten für diejenigen Ströme sein, deren Radiationspunkt  $90^\circ$  vom Apex entfernt ist. Man kann in der That leicht nachweisen, dass  $tMT$  seinen grössten Werth hat, wenn der Winkel bei  $T$   $90^\circ$  ist, indem das Verhältniss der absoluten Geschwindigkeiten  $tM$  und  $tT$  constant bleibt.

Die Dauer des Sternschnuppenschauers wird der Länge  $Qt''$  desjenigen Theiles der Bahn proportional sein, welcher in den Strom eingetaucht ist; man kann ihn der Breite  $a$  des Stromes multiplicirt mit der Cosecante des Winkels  $MtT$  zwischen den Bahnen der Erde und der Meteore gleichsetzen.

Ohne Berücksichtigung der Anziehung der Erde ist die Menge oder Häufigkeit der Meteore eines Stromes, d. h. die Anzahl der Meteore des Stromes, welche man in einem bestimmten Zeitraume sehen kann, direct proportional der Länge des ausgehöhlten Cylinders, und umgekehrt proportional der Zeitdauer, welche die Erde gebraucht, um den Strom zu durchstreifen; diese Menge kann man also ausdrücken durch

$$\frac{\text{Cosec. } tMT}{\text{Cosec. } MtT} = \frac{\text{Sin. } MtT}{\text{Sin. } tMT} = \frac{MT}{tT}$$

Betrachtet man die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn  $tT$  als constant, so erhält man folgende Schlussfolgerung: „Die stündliche Menge oder Häufigkeit eines Meteorstromes ist (cäteris paribus) der relativen Geschwindigkeit proportional, mit welcher seine Meteore auf die Erde fallen.“ Man kann daher das Gesetz dieser Menge aus der dritten Spalte der obigen kleinen Tabelle herleiten, wo wir im Auszuge die in dem dritten Capitel gegebene Tabelle der relativen Geschwindigkeiten wiederholt haben. In dieser Beziehung sind die von der Richtung des Apex herkommenden Ströme also viel mehr begünstigt als die von der entgegengesetzten



Richtung herkommenden; das Verhältniss ist wie das von 5, 82 : 1.

Verbindet man nun die von dieser Ursache herrührende Menge mit dem durch die Erdanziehung verursachten Dichtigkeitsfactor, so erhält man die vierte Spalte der obigen kleinen Tabelle, welche das Product der beiden zugleich thätigen Einwirkungen ausdrückt und das definitive Gesetz giebt, nach welchem die mittlere stündliche Häufigkeit der Sternschnuppenströme vom Apex aus bis zur entgegengesetzten Richtung abnimmt. Man erkennt, dass die Anziehung der Erde die Wirkung der relativen Geschwindigkeit compensirt, aber nur zum kleinen Theil; deshalb verbleibt die grössere stündliche Frequenz immer denjenigen Strömen, welche von den Gegenden um den Apex herum herkommen.

62. Die stündliche Häufigkeit der von einem gegebenen Strome ausgehenden Meteore hängt aber in noch viel grösserem Maasse von der Distanz seines Radianten von dem Zenith des Beobachters ab, also von dem Grad der Neigung, mit welcher sich die Meteore gegen ihn hin in die Atmosphäre der Erde stürzen. Dies ist eine sehr complicirte Wirkung, bei welcher man die Thätigkeit mehrerer Ursachen von verschiedener Natur unterscheiden muss.

Wenn der Beobachter in derselben Weise alle Meteore sehen könnte, deren verlängerte Bahnen die um ihn, innerhalb der Grenzen einer gegebenen Distanz, befindliche Oberfläche der Erde treffen, so würde die verschiedene Menge bei den verschiedenen Zenithdistanzen des Radianten, wie es bei ähnlichen Phänomenen zu geschehen pflegt, durch die Function  $\cos. z$  geregelt werden. Die Meteore aber, welche dem Beobachter sichtbar werden können, erglänzen in der Atmosphäre innerhalb gewisser Grenzen der Höhe; ihre Sichtbarkeit hängt ab:

1. Von der Entfernung, in welcher sie sich von dem Beobachter befinden. Betrachtet man nur dieses Element allein, so müsste der Raum, innerhalb dessen sich die sichtbaren Meteore befinden, eine Halbkugel sein, deren Mittelpunkt der Beobachter ist. Bezeichnet man mit O (Fig. 19) die Lage desselben, mit AB die Ebene seines Horizontes, mit CD die Schicht der Atmosphäre, wo gewöhnlich die Meteore verlöschen, mit EF die Schicht der mittleren Höhe des Aufleuchtens, mit OX die Grenze, jenseits welcher die Sternschnuppen von einem gegebenen absoluten Glanze sichtbar zu sein aufhören, so ist für den Beobachter O der Sichtbarkeitsraum oder das Sichtbarkeitsfeld cdef. Für Sternschnuppen von verschiedenem absoluten Glanze würde man



ein Segment von verschiedenem Radius erhalten, welches aber durch dieselben Ebenen CD und EF begrenzt ist.

2. Von der verschiedenen Neigung der Bahnen. Man erkennt leicht, dass die Bahnen, wenn sie vertical gerichtet sind, den Sichtbarkeitsraum in einer grösseren Anzahl treffen, als wenn sie schräg oder horizontal gerichtet sind; welche Neigungen man daher auch für die Bahnen annehmen kann, immer werden einige darunter sein, wie ca, welche eine lange Strecke in dem Sichtbarkeitsraume durchlaufen werden, und diese wird man leicht sehen können; andere hingegen, wie Fg, treten in den Sichtbarkeitsraum erst gegen das Ende ihres Laufes ein und werden, da sie eine scheinbar kurze Bahn haben, eher verschwinden; einige sogar werden häufig unbeobachtet vorübergehen, wie hk, indem sie ihren sichtbaren Weg erst in dem Sichtbarkeitsraume beginnen, aber hierauf sofort aus ihm wieder entweichen.

3. Von dem Winkel, unter welchem die Bahn in dem Auge des Beobachters erscheint. Da die längeren Bahnen auch leichter zu sehen sind, so werden diejenigen Meteore besser zu beobachten sein, welche eine zu der Gesichtslinie ganz oder fast perpendiculäre Bahn zeigen; während diejenigen, welche fast in derselben Richtung mit der Gesichtslinie sich befinden und sich in grosser Verkürzung zeigen, leichter unbemerkt vorübergehen. In dieser Hinsicht finden die ungünstigsten Umstände statt, wenn die Meteore vertical herabfallen, und die günstigsten, wenn die Bahnen ganz oder fast horizontal sind. Diesen Umständen steht aber die andere Thatsache entgegen, dass die letzteren Sternschnuppen sehr leicht erst dann zu dem Beobachter gelangen können, nachdem sie schon ausserhalb des Sichtbarkeitsraumes ihren Glanz verloren haben, wie z. B. Fg. Sind die Bahnen aber vertical, so gelangen fast alle Meteore ohne Hinderniss in den Sichtbarkeitsraum.

4. Da die höheren Meteore gewöhnlich einen grösseren absoluten Glanz haben, wie es nach der Theorie und den Beobachtungen feststeht, so ist die Grenze des Sichtbarkeitsraumes für die obersten Schichten der Atmosphäre weiter gesteckt, und deshalb wird auch der von den sichtbaren Meteoren eingenommene Raum nach oben zu wahrscheinlich sich erweitern, anstatt, wie das Segment von Fig. 19, sich zu verengern.

5. Zu dieser Conjectur führt noch eine andere Thatsache, nämlich die geringere Durchsichtigkeit der unteren Schichten der Atmosphäre; ein Meteor kann deshalb in diesen Schichten unsichtbar werden, während es aber in grösserer



Höhe längs derselben Verticale dem Beobachter durch seinen Glanz trotz der grösseren Entfernung hätte sichtbar werden können.

6. Andere zufällige Umstände können das Resultat noch beeinflussen; hierzu gehört die Richtung, nach welcher hin der Beobachter sich gewendet hat. Nach Coulvier-Gravier sieht man mehr Meteore, wenn der Beobachter sich nach der Himmelsgegend hin wendet, welche derjenigen direct entgegengesetzt ist, von welcher die grössere Anzahl von Meteoren herkommt; oder mit anderen Worten, wenn der Beobachter dem Radiationspunkte den Rücken zuwendet. Auf diese Weise hat man allerdings die grössere Wahrscheinlichkeit für die Sichtbarkeit von langen Bahnen; die Erfahrung von Zezioli zeigt aber, dass, wenn man viele Meteore sehen will, mögen sie von langer oder kurzer Bahn, glänzend oder schwach sein, man sie nahe bei ihren Radianten suchen muss, wenn diese culminiren oder nahe bei dem Zenith sind.

63. Der grösste Theil dieser Umstände entzieht sich völlig der Berechnung, man kann aber durch ihre Betrachtung erkennen, dass in den dem Horizonte mehr benachbarten Regionen die Meteore seltener erscheinen müssen, welche Höhe auch der Radiant haben mag. Man kann aber keineswegs, wie es scheint, mit irgend welchem Grunde einen Schluss ziehen, welche die günstigste Neigung der Sternschnuppenbahnen sei, ungeachtet der Conjectur, welche Capt. Goulier hierüber in seiner interessanten Abhandlung aufgestellt hat.<sup>99)</sup>

Will man irgend eine sichere Kenntniss dieses Umstandes erhalten, so muss man die Beobachtungen zu Hülfe nehmen. Nimmt man an, dass man die Gewissheit der constanten Menge innerhalb eines Sternschnuppenstromes erlangen kann, so würde es genügen, bei heiterem und normalem Wetter, und ohne durch den Mondschein gestört zu werden, die stündliche Anzahl von Meteoren zu bestimmen, welche dieser Radiant, in verschiedenen Höhen über dem Horizonte, aussendet. Solche ähnliche Beobachtungen sind an verschiedenen Orten für die Leoniden des Jahres 1868 angestellt worden (die von 1866 und 1867 waren zu vielen Variationen ihrer inneren Menge unterworfen); die vollständigsten Zählungen sind die in Rom und Washington ausgeführten. Trotz der Schwankungen in der Dichtigkeit des Stromes ergeben diese Zählungen, dass die Menge der Meteore mit dem Erheben des Radianten über den Horizont sehr viel schneller wächst, als der Cosinus der Zenithdistanz, wie man aus folgender Ver-

---

<sup>99)</sup> Études géométriques etc. p. 108—118.



gleichung der zu Rom von P. Secchi und Prof. Respighi angestellten Beobachtungen ersehen kann.

13. November 1868.

| Zeitraum<br>(in mittl. Zeit)        | Zählung        |                     | cos.z. |
|-------------------------------------|----------------|---------------------|--------|
|                                     | nach P. Secchi | nach Prof. Respighi |        |
| 15 <sup>h</sup> — 15 <sup>1/2</sup> | 132            | —                   | 0, 720 |
| 15 <sup>1/2</sup> — 16              | 288            | 191                 | 0, 784 |
| 16 — 16 <sup>1/2</sup>              | 257            | 267                 | 0, 838 |
| 16 <sup>1/2</sup> — 17              | 497            | 268                 | 0, 882 |
| 17 — 17 <sup>1/2</sup>              | 609            | 419                 | 0, 915 |

Die letztere Spalte erhält man, wenn man als Coordinaten des Radiationspunktes AR 150°, Decl. + 23° annimmt. Ein ganz ähnliches Resultat erhält man aus den Angaben der stündlichen Anzahl bei den amerikanischen Beobachtungen.

64. Da der Strom der Perseiden von einer mehr erwiesenen Beständigkeit ist, so könnte er sich passender zur Bestimmung der Menge eignen. Coulvier-Gravier hat die von ihm eine lange Reihe von Jahren hindurch gemachten Zählungen nach Stunden geordnet; diesem Beobachter zufolge würde man im Mittel in den Nächten des 9., 10., 11. August folgende stündliche Zahlen erhalten<sup>100)</sup>.

| Mittlere Zeit von Paris          | Mittlere stündliche Anzahl |
|----------------------------------|----------------------------|
| 9 <sup>h</sup> — 10 <sup>h</sup> | 31, 4                      |
| 10 — 11                          | 44, 8                      |
| 11 — 12                          | 50, 3                      |
| 12 — 13                          | 67, 2                      |
| 13 — 14                          | 79, 2                      |
| 14 — 15                          | 82, 1                      |

Diese Zahlen drücken die Menge aus, zu welcher die in diesen Nächten thätigen Radianten gleichzeitig beitragen, und nicht allein die Perseiden. Derselben Autor zufolge geben die gewöhnlichen Nächte in dem zweiten Semester des Jahres folgende stündliche Zahlen der Sternschnuppen<sup>101)</sup>:

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| 9 <sup>h</sup> — 10 <sup>h</sup> | 11, 0 |
| 10 — 11                          | 12, 1 |
| 11 — 12                          | 13, 3 |
| 12 — 13                          | 14, 5 |
| 13 — 14                          | 17, 0 |
| 14 — 15                          | 20, 4 |

<sup>100)</sup> Recherches sur les météores etc. p. 221.

<sup>101)</sup> Ibid. p. 219.



Zieht man diese Zahlen von den vorhergehenden ab, so kann man glauben, bis zu einem gewissen Punkte das Gesetz aufgefunden zu haben, nach welchem die stündlichen Zahlen der Perseiden zunehmen. Neben diese Zahlen habe ich nun die Cosinus der Zenithdistanzen geschrieben, welche dem mittleren Augenblicke der respectiven Zeiträume entsprechen, berechnet für die Breite von Paris nach der Hypothese, dass die Position des Radianten AR  $43^{\circ}$  Decl.  $+ 57^{\circ}$  sei.

| Zeiträume<br>(mittl. Zeit)           | Stündliche Anzahl<br>der Perseiden (?) | cos. z |
|--------------------------------------|----------------------------------------|--------|
| 9 <sup>h</sup> . — 10 <sup>h</sup> . | 20, 4                                  | 0, 441 |
| 10 — 11                              | 32, 7                                  | 0, 527 |
| 11 — 12                              | 37, 0                                  | 0, 619 |
| 12 — 13                              | 52, 7                                  | 0, 712 |
| 13 — 14                              | 62, 2                                  | 0, 800 |
| 14 — 15                              | 61, 7                                  | 0, 876 |

Auch hier sehen wir, dass die Menge der Meteore viel schneller wächst als cos. z. Diese Thatsache scheint ausser Zweifel zu sein; wohl aber halte ich es für jetzt für ein zu gewagtes Unternehmen, aus diesen und aus den vorhergehenden Zahlen einen empirischen Ausdruck für das Gesetz dieser Menge aufzustellen.

65. Ausser den erwähnten Umständen hat die Fallgeschwindigkeit einen grossen Einfluss auf die scheinbare Menge der Meteore einer Radiation durch die verschiedene Grösse der lebendigen Kraft, welche sich unter Entwicklung von Licht in Wärme umwandelt, und durch die verschiedene Höhe der Luftschichten, in denen, abhängig von der erwähnten Geschwindigkeit, die Verbrennung erfolgt. Wir haben im ersten Capitel gesehen, dass die Meteore, welche in die Atmosphäre mit grösserer Geschwindigkeit herabfallen, sich in höheren Schichten verzehren, also in einer grösseren Entfernung von dem Beobachter und in einer dünneren Luft, wo die Verbrennung vielleicht schwieriger ist. Andererseits aber entwickeln diese schnelleren Meteore während ihrer Bahn durch die Atmosphäre eine grössere Wärmemenge und erlangen wahrscheinlich eine höhere Temperatur. Alles dies bewirkt, dass von zwei Meteorströmen, von denen der eine in der Richtung des Apex, der andere in der entgegengesetzten Richtung herabfällt, die aber im Uebrigen an Grösse und an Anzahl der Meteormassen gleich sind, der eine dem Beobachter bei Weitem glänzender als der andere erscheinen kann, ohne dass man sagen kann, in welchem Verhältniss. Hier hat man also für die Sternschnuppenradiationen einen anderen Factor der scheinbaren Dichtigkeit; dieser Factor hängt ebenso wie die



in den §§. 60 und 61 betrachteten einzig und allein von der Elongation des Radianten vom Apex ab.

66. Für unsern Zweck mag es hier genügen, die der Art und Weise, wie die Sternschnuppen herabfallen, anhaftenden Umstände nachzuweisen, von denen die Sichtbarkeit und der Reichthum eines gegebenen Sternschnuppenstromes abhängen. Verbindet man diese Umstände mit anderen, an die Gegenwart der Sonne, des Mondes und der Dämmerung geknüpften, und mit der nicht gleichmässigen Vertheilung der Meteore in den von ihnen gebildeten Strömen, so kann man sich leicht erklären, warum gewisse Sternschnuppenschauer, welche in gewissen Gegenden sehr glänzend aufgetreten sind, in anderen gar nicht oder nur schwach sich gezeigt haben; hierbei braucht man nicht zu der unangemessenen Hypothese seine Zuflucht zu nehmen, dass diese Phänomene für gewisse Gegenden der Erde eine besondere Vorliebe haben. Ich will über diesen Gegenstand keine weiteren Untersuchungen anstellen, da er mit aller wünschenswerthen Ausführlichkeit und Klarheit von Capit. Goulier in seiner mehrfach erwähnten Abhandlung behandelt worden ist<sup>102)</sup>.

Zu anderen Fragen ähnlicher Gattung, welche noch zu erledigen sind, dürften auch die über die grössere oder geringere Leichtigkeit gehören, mit welcher ein Beobachter unter einer gegebenen Breite in verschiedenen Epochen des Jahres Ströme von bestimmtem Charakter beobachten kann, also solche, welche Bahnen von gewisser besonderer Eigenthümlichkeit durchlaufen. Abgesehen aber davon, dass solche Fragen für den Fortschritt der meteorischen Wissenschaft mir heute nicht von grosser Wichtigkeit erscheinen, so erläutert ein aufmerksamer Blick auf die Tabelle im dritten Capitel, welche die Elemente der 189 von Zezioli beobachteten Ströme giebt, sofort die hauptsächlichen hier in Betracht kommenden Thatfachen. Man erkennt z. B., dass ein nördlicher Beobachter in gewissen Zeiten des Jahres viel leichter rechtläufige Ströme beobachten kann als rückläufige; dass in den Monaten März, April, Mai, Juni die Beobachtungen der rückläufigen Ströme fast unmöglich sind; dass im Allgemeinen die rückläufigen Ströme von grosser Neigung leichter zu beobachten sind; dass die Ströme von kleiner Periheldistanz nur in den letzten drei Monaten des Jahres leicht zu sehen sind u. s. w. Alle diese Einzelheiten finden ihre Erklärung in den Umständen, welche stattfanden, als Zezioli seine Beobachtungen anstellte, und haben nichts mit der wahren Vertheilung der Sternschnuppenströme im Raume zu schaffen.

---

<sup>102)</sup> Études géométr. etc. p. 119—139.



## Capitel VI.

### Periodische Veränderungen der Häufigkeit der Sternschnuppen.

67. Wir haben im dritten Capitel gesehen, dass die Verbindung der Bahnbewegung der Erde und der Bewegung der Meteore im Raume eine sehr bemerkenswerthe Verdichtung der scheinbaren Positionen der Radianten um den Apex herum zur Folge hat. In dem fünften Capitel ist alsdann gezeigt worden, dass jeder Meteorstrom, einzeln für sich betrachtet, mehr oder weniger reich an Meteoren erscheinen kann, je nach seiner Entfernung vom Apex und von dem Zenith des Beobachters. Aus der engeren Verbindung dieser beiden Thatsachen schliessen wir, dass der Reichthum und die Fülle, mit welcher die Meteore von einer gegebenen Gegend des Himmels aus zu dem Beobachter hin ausstrahlen, nach bestimmten Verhältnissen, welche wir jetzt näher untersuchen wollen, veränderlich sein muss.

Wir wollen zunächst insbesondere die von der Lage der verschiedenen Theile des Himmels in Bezug auf den Apex abhängenden Variationen betrachten. Nimmt man auf der scheinbaren Himmelskugel eine gegebene Fläche, z. B. einen Quadratgrad, so wird die Anzahl der auf dieser Fläche befindlichen Radianten nach der Entfernung vom Apex in einem Verhältniss variiren, dessen fortschreitende Reihe für alle Elongationen vom Apex von  $0^{\circ}$  bis  $180^{\circ}$  im §. 45 gegeben worden ist. Für jeden Radianten aber wird die Menge der der Erde begegnenden Meteore dem Volumen des ausgehöhlten Cylinders proportional sein, also dem Ausdrücke  $\frac{w^2}{u^2} \frac{1}{\sin T M t}$  (§. 61). Bildet man alsdann das Product der Zahlenangaben des §. 45 mit diesem Factor, so erhält man den Dichtigkeitscoefficienten der Meteore, welche von einer Himmelsgegend her-



kommen, deren scheinbare Elongation vom Apex gegeben ist, bei der Annahme, dass die Meteorströme auf die Erde von allen Gegenden des planetarischen Raumes her mit gleicher Häufigkeit herabkommen:

| Scheinbare<br>Elongation vom Apex. | Winkel<br>TMt. |    | Dichtigkeitscoefficient<br>der Meteore. |
|------------------------------------|----------------|----|-----------------------------------------|
| 0°                                 | 0°             | 0' | unendlich                               |
| 12                                 | 8              | 27 | 19,98                                   |
| 24                                 | 16             | 43 | 9,60                                    |
| 36                                 | 24             | 34 | 6,00                                    |
| 48                                 | 31             | 42 | 4,08                                    |
| 60                                 | 37             | 46 | 2,85                                    |
| 72                                 | 42             | 16 | 1,99                                    |
| 84                                 | 44             | 41 | 1,38                                    |
| 96                                 | 44             | 41 | 0,96                                    |
| 108                                | 42             | 16 | 0,69                                    |
| 120                                | 37             | 46 | 0,54                                    |
| 132                                | 31             | 42 | 0,48                                    |
| 144                                | 24             | 34 | 0,49                                    |
| 156                                | 16             | 43 | 0,61                                    |
| 168                                | 8              | 27 | 1,11                                    |
| 180                                | 0              | 0  | unendlich.                              |

Diese Tabelle zeigt, dass man im Apex und in dem entgegengesetzten Punkte für die Menge der Meteore zwei Maxima der Dichtigkeit hat; dass aber das Maximum bei dem Apex ohne Vergleich bedeutender ist, als das Maximum in dem entgegengesetzten Theile des Himmels. Was den Werth unendlich betrifft, welcher sich für die Dichtigkeit in den beiden entgegengesetzten Punkten ergibt, so wissen die Mathematiker, dass er nicht gerade eine unendliche Anzahl von Meteoren bedingt; denn diese unendlich grosse Dichtigkeit findet nur auf einer Fläche statt, welche eine unendlich kleine Grösse zweiter Ordnung ist, weshalb einem endlichen Raume in diesem Falle auch eine endliche Anzahl von Meteoren entspricht. Da es überdies sich hier nicht um eine continuirliche Function handelt, sondern um, nach dem Zufall, vertheilte Radianthen, so hat der Begriff der Dichtigkeit nur dann einen Werth, wenn man sie für einigermaßen grosse Räume nimmt; man kann ihn aber nicht auf die unendlich kleinen Elemente der Kugeloberfläche ausdehnen.

Theilt man die Kugel mittelst eines grössten Kreises, dessen Pole der Apex und der Antiapex sind, in zwei gleiche Theile und bestimmt man durch Quadraturen das Verhältniss der Gesamtzahlen der von diesen beiden Halbkugeln ausgesendeten Meteore, so findet man, dass von 1000 Meteoren die Halbkugel, welche den Apex enthält, 870, die andere aber



nur 130 aussendet. Das Verhältniss dieser beiden Zahlen ist etwas kleiner, als das von 7:1. In Wirklichkeit wird die gleichförmige Vertheilung der Meteorströme um die Erde vielleicht nicht stattfinden; hieraus wird für die scheinbare Vertheilung der Radianten eine Ungleichheit der Dichtigkeit entspringen; multiplicirt man diese mit den Factoren der dritten Spalte der letzten Tabelle, so müsste man die beobachtete Dichtigkeit erhalten. Es ist ferner zu bemerken, dass hier nicht die verschiedenen Bedingungen berücksichtigt worden sind, unter welchen der verschiedene Grad von Geschwindigkeit, mit der die Meteore in die Atmosphäre der Erde herabfallen, zu der Entzündung der Meteore und zu ihrer Sichtbarkeit beiträgt.

Jedenfalls ist die Variation der Dichtigkeitscoefficienten nach der obigen Tabelle so gross, dass die ungleiche Vertheilung der Meteorströme um die Erde die fundamentale, aus der fortschreitenden Reihe dieser Coefficienten hervorgehende, Thatsache schwerlich wird beseitigen können, nämlich das grosse Uebergewicht der dem Apex zunächstliegenden Gegenden, in Bezug auf den Reichthum an Meteoren. Wir können also bei den folgenden Betrachtungen den Apex als das hauptsächlichste Condensationscentrum der Meteorschauer ansehen und ferner annehmen, dass alle Anomalien in der Vertheilung der Ströme nicht hinreichen, dieses Merkmal zu verwischen. Wir können endlich die Einwirkung der geringeren Condensation um den entgegengesetzten Punkt vernachlässigen, weil sich diese über eine zu kleine Fläche erstreckt, um wahrnehmbar zu werden. —

68. Betrachten wir nun die Modificationen, welche für dieses Phänomen durch die Lage der verschiedenen Gegenden der Himmelskugel in Bezug auf den Horizont des Beobachters verursacht werden. Hier sind zwei verschiedene Einwirkungen zu betrachten.

Die erste hängt von der Zenithattraction ab, welche durch Erhöhung der scheinbaren Position der Radianten über dem Horizonte bewirkt, dass der Beobachter auf einer Halbkugel vereint die einem beträchtlich grösseren Theile der Kugel angehörenden Radianten erblicken kann. Die Einwirkung dieser Ursache auf die Gesamtzahl der Meteore, welche ein Beobachter sehen kann, ist schon bei der Berechnung des Volumens des von der Erde in den Meteorströmen ausgehöhlten Cylinders betrachtet worden. Der Theil der Himmelskugel aber, für welchen die meteorischen Radiationen sichtbar werden, wird veränderlich je nach der Höhe des Apex über dem Horizonte. Es stelle (Fig. 20) MP den Horizont vor, Z das Zenith, A den Apex. In dem Punkte



N des Horizontes wird ein Radiant sichtbar werden, welcher in Wahrheit noch in  $n$  sich befindet; der Bogen  $Nn$  wird gleich der grössten Zenithattraction  $\Phi$  sein, welche der Elongation  $An$  des Punktes  $n$  vom Apex entspricht. Ebenso werden in  $M, P$  die Radianten  $m, p$  erscheinen und die Bogen  $Mm, Pp$  werden denjenigen Werthen der grössten Zenithattraction  $\Phi$  gleichkommen, welche den Elongationen  $mZA, pA$  entsprechen. Deshalb wird der Beobachter Meteore von allen Radianten erblicken können, die in dem Theile der Kugeloberfläche zwischen dem Zenith  $Z$  und der Curve  $mnp$ , welche der geometrische Ort der Punkte  $m, n, p$  ist, enthalten sind. Dieser Theil der Kugeloberfläche ist aber veränderlich nach der Höhe des Punktes  $A$  über dem Horizonte. —

69. Die andere und noch wichtigere Einwirkung besteht darin, dass die Menge der von diesem Theile der Kugel  $mZp$  ausstrahlenden Meteore ebenfalls noch abhängt von der Position des Punktes  $A$ , welcher das hauptsächlichste Condensationscentrum der Meteore ist. Summirt man also diese beiden Einwirkungen, so erhält man eine Gesamteinwirkung, welche ganz und gar von der Höhe des Punktes  $A$  über dem Horizonte abhängig ist. Nach diesen Voraussetzungen wird daher offenbar die Menge der von einem Beobachter gesehenen Sternschnuppen um so grösser sein, je näher der Punkt  $A$  dem Zenith sein wird. Ich bin genöthigt, diesen Satz nur approximativ aufzustellen, da die gegenwärtigen Kenntnisse über diesen Gegenstand es nicht gestatten, die Beziehung zwischen der Menge der zu beobachtenden Sternschnuppen und der Zenithdistanz des Punktes  $A$  genauer zu untersuchen und sie in einer der Wirklichkeit entsprechenden Art zu bestimmen.

Wie auch immer diese Beziehung beschaffen sein mag, sie wird durch den verschiedenen Reichthum an Meteoren, mit welchem ein Meteorschauer auftritt, je nachdem ihre Bahnen mehr oder weniger gegen den Horizont des Beobachters geneigt sind, in durchgreifender Weise modificirt. Wir haben gesehen, dass bei dem Herabsinken des Radianten vom Zenith bis zum Horizonte die Fülle an Meteoren in einem sehr viel schnelleren Verhältnisse abnimmt, als der Cosinus der Zenithdistanz des Radianten (§. 63, 64). Dieser Umstand, dessen numerisches Gesetz feststellen zu können, für jetzt noch unmöglich ist, verändert beträchtlich die Beziehung, durch welche die Menge der zu beobachtenden Sternschnuppen und die Zenithdistanz des Apex mit einander verbunden sind. Man sieht aber auch sofort, dass das Hauptmerkmal dieser Beziehung nicht verschwindet und dass, ungeachtet der Hindernisse durch die atmosphärischen Dünste etc., die sichtbare Menge der Meteore stets um so grösser sein wird, je näher dem Zenith



die an Meteoren fruchtbaren Gegenden um den Apex sich befinden, also demjenigen Punkte, um welchen herum die Meteore dem Beobachter am leichtesten sichtbar werden.

Halten wir diesen Grundsatz als wahr fest, so sind wir im Stande, eine vollständige Erklärung gewisser periodischer Variationen zu geben, denen die Menge der an einem gegebenen Orte zu beobachtenden Sternschnuppen unterworfen ist. —

70. Tägliche Variation. Die tägliche, oder wie Andere sagen, stündliche Variation ist schon von Herrick i. J. 1838 erwähnt worden, wurde aber erst durch die Bemühungen von Coulvier-Gravier besser bekannt und ist neuerdings mit grösserer Genauigkeit von J. Schmidt untersucht worden. Herrick hatte aus eigenen Zählungen geschlossen, dass in den letzten Stunden der Nacht, also gegen Morgen, die Sternschnuppen ungefähr dreimal zahlreicher seien, als in den Abendstunden<sup>103)</sup>. Secchi hat bemerkt, dass die That- sache der grösseren Fülle an Sternschnuppen in den Stunden nach Mitternacht auch dem Volke bekannt ist<sup>104)</sup>. Nach den ersten Untersuchungen von Coulvier-Gravier, die i. J. 1847 publicirt sind, ist, unter sonst gleichen Umständen, die Anzahl der Sternschnuppen am Abend am kleinsten, am Morgen am grössten und erreicht gegen Mitternacht ihren mittleren Werth<sup>105)</sup>. Später veröffentlichte Coulvier-Gravier eine zweite Reihe von stündlichen Zahlen der Meteore, indem er die Resultate des ersten Semesters des Jahres von denen des zweiten unterschied. Aus diesen Zahlenangaben würde das Maximum der Menge ungefähr auf 3 Uhr nach Mitternacht fallen, während nach den ersten Untersuchungen derselbe Coulvier-Gravier das Maximum auf 6 Uhr Morgens bestimmte<sup>106)</sup>. Endlich veröffentlichte der Director der Sternwarte zu Athen J. Schmidt i. J. 1869 die Resultate seiner 2840 Beobachtungsstunden umfassenden Untersuchungen, die er mit aller nothwendigen Vorsicht und Umsicht durchgeführt hat<sup>107)</sup>. Schmidt hat das Gesetz der täglichen Variation für jeden einzelnen Monat des Jahres untersucht. Hier wollen wir nur die mittleren jährlichen Resultate anführen, sei es weil dies für den gegenwärtigen Zweck genügt, sei es, weil die Trennung in Monate nur dann von Nutzen sein kann, wenn man eine viel grössere Zahl von Beobachtungen hat, die eine viel grössere Anzahl von Jahren umfassen.

<sup>103)</sup> H. A. Newton. On shooting stars in Sillim. Journ. Vol. XXXIX. p. 206.

<sup>104)</sup> Bulletino meteorologico 1866. Tomo V. p. 88.

<sup>105)</sup> Coulvier-Gravier et Saigey. Introduction historique p. 171.

<sup>106)</sup> Recherches sur les météores p. 219.

<sup>107)</sup> Astronomische Beobachtungen über Meteorbahnen (148, 49).



| Astronomische<br>Zeit           | Coulvier-Gravier        |                         | Schmidt<br>(2840 Stunden) |
|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
|                                 | I. Reihe<br>(1841—1845) | II. Reihe<br>(12 Jahre) |                           |
| 5 <sup>h</sup> — 6 <sup>h</sup> | —                       | 7,2                     | 4,17                      |
| 6 — 7                           | 3,3                     | 6,5                     | 5,33                      |
| 7 — 8                           | 3,5                     | 7,0                     | 5,72                      |
| 8 — 9                           | 3,7                     | 6,3                     | 6,67                      |
| 9 —10                           | 4,0                     | 7,9                     | 7,88                      |
| 10 —11                          | 4,5                     | 8,0                     | 9,53                      |
| 11 —12                          | 5,0                     | 9,5                     | 11,58                     |
| 12 —13                          | 5,8                     | 10,7                    | 14,07                     |
| 13 —14                          | 6,4                     | 13,1                    | 16,32                     |
| 14 —15                          | 7,1                     | 16,8                    | 17,91                     |
| 15 —16                          | 7,6                     | 15,6                    | 18,21                     |
| 16 —17                          | 8,0                     | 13,8                    | 18,75                     |
| 17 —18                          | 8,2                     | 13,7                    | 14,92                     |
| 18 —19                          | —                       | 13,0                    | —                         |

Diese Zahlen geben an, wie viele Sternschnuppen im Mittel ein Beobachter in einer Stunde zu den verschiedenen Nachtzeiten zählen kann. Die Zahlen der ersten älteren Reihe von Coulvier-Gravier betragen fast alle nur die Hälfte von den Zahlen der beiden letzten Reihen; dies rührt vielleicht von der verschiedenen Art und Weise her, die stündliche Menge zu beobachten oder zu berechnen. Abstrahirt man aber von den absoluten Werthen und beachtet man nur das Gesetz der Progression, so findet man in allen drei Reihen einen bemerkenswerthen Parallelismus, welcher den Character des hier in Betracht kommenden Gesetzes ausser allen Zweifel setzt. Man wird indessen bemerken, dass in der Reihe von Schmidt die Differenz zwischen dem Maximum und dem Minimum verhältnissmässig grösser ist, als in den Reihen von Coulvier-Gravier. —

Diese sonderbare Erscheinung war für einige Zeit die Hauptwaffe der Hypothese, welche die Sternschnuppen mit den atmosphärischen Aenderungen verknüpft. Es ist in der That auf den ersten Blick schwer zu begreifen, wie ein kosmisches Phänomen von den Ortsstunden jedes Beobachters abhängig sein kann, während doch nichts natürlicher ist, als die tägliche Variation der Sternschnuppen mit denen des Barometers und des Thermometers zu vergleichen. Die Erklärung dieser Thatsache setzte die Anhänger der kosmischen Theorie in nicht geringe Verlegenheit; ja mancher von ihnen liess sich hierdurch der Gegenpartei zuwenden. Ich will hier aus dem dritten Bande des Kosmos die Betrachtungen anführen, zu welchen Humboldt durch das Phänomen der täglichen



Variation veranlasst wurde<sup>108)</sup>. „Es ist schwer die Ursache einer solchen stündlichen Variation, einen Einfluss des Abstandes von dem Mitternachtspunkt zu errathen. Wenn unter verschiedenen Meridianen die Sternschnuppen erst in einer bestimmten Frühstunde vorzugsweise sichtbar werden, so müsste man bei einem kosmischen Ursprunge annehmen, was doch wenig wahrscheinlich ist: dass diese Nacht- oder vielmehr Frühmorgenstunden vorzüglich zur Entzündung der Sternschnuppen geeignet seien, während in anderen Nachtstunden mehr Sternschnuppen vor Mitternacht unsichtbar vorüberziehen. Wir müssen noch lange mit Ausdauer Beobachtungen sammeln.“ Diese Worte schrieb Humboldt 1850.

71. *Jährliche Variation.* Brandes hatte i. J. 1823 erkannt, dass die Zahl der Sternschnuppen im Herbst grösser ist, als im Frühjahr; dies war die erste Angabe, welche man über die jährliche Variation hatte; sie wurde auch von Eduard Biot aus chinesischen Beobachtungen bestätigt und später mit grösserer Genauigkeit von Coulvier-Gravier aus eigenen Beobachtungen näher bestimmt; ihm folgten hierauf Schmidt und Wolf. Die folgende Tabelle giebt die mittlere Zahl der Sternschnuppen, welche von diesen Beobachtern in einer Stunde in den verschiedenen Monaten des Jahres bestimmt worden ist<sup>109)</sup>:

| Monat     | Coulvier-Gravier<br>(1841—1845) | Schmidt I.<br>(8 Jahre) | R. Wolf<br>(12 Jahre) | Schmidt II.<br>(27 Jahre) |
|-----------|---------------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Januar    | 3,6                             | 3,4                     | 5,5                   | 13,07                     |
| Februar   | 3,6                             | —                       | 5,4                   | 6,42                      |
| März      | 2,7                             | 4,9                     | 5,2                   | 10,70                     |
| April     | 3,7                             | 2,4                     | 4,6                   | 11,64                     |
| Mai       | 3,8                             | 3,9                     | 4,1                   | 8,72                      |
| Juni      | 3,2                             | 5,3                     | 5,4                   | 9,40                      |
| Juli      | 7,0                             | 4,5                     | 9,8                   | 18,27                     |
| August    | 8,5                             | 5,3                     | 12,9                  | 24,97                     |
| September | 6,8                             | 4,7                     | 7,4                   | 11,73                     |
| October   | 9,1                             | 4,5                     | 6,4                   | 18,07                     |
| November  | 9,5                             | 5,3                     | 5,0                   | 16,64                     |
| December  | 7,2                             | 4,0                     | 4,1                   | 17,96                     |

<sup>108)</sup> Kosmos, deutsche Ausgabe Bd. III. (1850) p. 612 und italienische Ausgabe Vol. III. p. 480.

<sup>109)</sup> Die Reihe von Coulvier-Gravier ist in der schon citirten Introduction historique p. 172 enthalten; die erste Reihe von Schmidt findet sich im Humboldt'schen Kosmos, Vol. III. p. 471 der Ausgabe zu Mailand; die von Wolf ist entnommen den „Mondes“ des Abbé Moigno t. XIII. 1867 p. 24; die zweite Reihe von Schmidt giebt die mittlere Anzahl für alle Monate des Jahres auf 12<sup>h</sup>, 5 bezogen und findet sich in den schon erwähnten „Astronomische Beobachtungen über Meteorbahnen etc.“ p. 52.



Diese Reihen zeigen merkliche Differenzen, die von der verschiedenen Methode der Beobachtungen und deren Berechnungen herrühren. Auch von einem Monat zum andern bemerkt man in einer und derselben Reihe Sprünge, die ohne Zweifel von einem besonderen Reichthume an Meteoren zu gewissen Zeiten des Jahres herrühren; unter diesen ragt besonders die Einwirkung der Perseiden im August und der mit ihnen in Verbindung stehenden Ströme hervor. Man kann nichtsdestoweniger bemerken, dass im Allgemeinen die letzten sechs Monate des Jahres in allen Reihen einen viel grösseren Reichthum an Meteoren zeigen. Bezeichnet man mit 1,00 die jährliche Anzahl der Meteore, so sind die Zahlen für jedes Semester:

|                      | Erstes Semester | Zweites Semester |
|----------------------|-----------------|------------------|
| bei Coulvier-Gravier | 0,30            | 0,70             |
| „ Schmidt I.         | 0,46            | 0,54             |
| „ R. Wolf            | 0,40            | 0,60             |
| „ Schmidt II.        | 0,36            | 0,64             |

Coulvier-Gravier, dem hierin Arago und Ed. Biot folgten, drückte das Gesetz der jährlichen Variation der Sternschnuppen und der analogen Meteore dahin aus, dass die Erde bei ihrem Fortgange vom Perihel zum Aphel viel weniger Meteoren begegne, als bei ihrem Fortschreiten vom Aphel zum Perihel. Wir werden sehen, dass diese Art, den Gegenstand zu betrachten, ungenau ist: die jährliche Variation hängt nicht mit der Lage der Erde in Bezug auf die Apsiden ihrer Bahn zusammen, sondern ist einzig und allein von den Aequinoctien und den Solstitien abhängig.

72. Azimuthale Variation. Eine nicht minder gefährliche Schwierigkeit, als die tägliche Variation, bereitete der kosmischen Theorie der Sternschnuppen die azimuthale Variation oder Vertheilung; Brandes hat sie schon 1823 in Betracht gezogen und das Gesetz angegeben, nach welchem die Richtungen der Sternschnuppen in Bezug auf den Punkt des Horizontes, von dem sie herzukommen scheinen, vertheilt sind <sup>110)</sup>. Diese azimuthale Variation wurde sodann von Schmidt untersucht (1842—1844) und auch von Coulvier-Gravier, welcher sie mit grösserer Genauigkeit, als irgend ein

---

<sup>110)</sup> So wenigstens interpretire ich die Beobachtungen von Coulvier-Gravier und von Schmidt. Diese Art der Vertheilung ist offenbar von derjenigen sehr verschieden, welche Coulvier-Gravier in Betracht zog, und von der des Prof. Newton, welcher die Azimuthe berücksichtigte, in denen die sogenannten Centra der sichtbaren Bahnen erschienen.



Anderer, bestimmte. Folgende kleine Tabelle enthält die Beobachtungs-Resultate von Schmidt<sup>111)</sup>:

Zahl der Sternschnuppen

| aus          | 1842 | 1843 | 1844 |
|--------------|------|------|------|
| Nord kommend | 21   | 30   | 78   |
| Ost „        | 108  | 151  | 247  |
| Süd „        | 20   | 34   | 72   |
| West „       | 30   | 79   | 76   |

In der folgenden anderen Tabelle findet man die vollständigeren und detaillirteren Resultate von Coulvier-Gravier, die sich auf Beobachtungen von fast 4400 Meteoren stützen<sup>112)</sup>:

| Richtung | 1842  | 1843 | 1844  | Mittel |
|----------|-------|------|-------|--------|
| N—NNO    | 106   | 54   | 160   | 107    |
| NNO—NO   | 99,5  | 63   | 222,5 | 128    |
| NO—ONO   | 65    | 67   | 223,5 | 118    |
| ONO—O    | 120,5 | 90   | 180,5 | 130    |
| O—OSO    | 179   | 102  | 209   | 163    |
| OSO—SO   | 143,5 | 65   | 163,5 | 124    |
| SO—SSO   | 127,5 | 51   | 223,5 | 134    |
| SSO—S    | 140,5 | 66,5 | 133,5 | 113    |
| S—SSW    | 97,5  | 47,5 | 123,5 | 89     |
| SSW—SW   | 50    | 27   | 68,5  | 48     |
| SW—WSW   | 32,5  | 25,5 | 63,5  | 40     |
| WSW—W    | 41,5  | 22   | 56,5  | 40     |
| W—WNW    | 51,5  | 36,5 | 53    | 47     |
| WNW—NW   | 40    | 21,5 | 59    | 40     |
| NW—NNW   | 48,5  | 12   | 89    | 50     |
| NNW—N    | 72    | 40,5 | 161   | 91     |

Beide Reihen zeigen übereinstimmend ein grosses Ueberwiegen der aus Ost kommenden Meteore. Die statistische Aufstellung von Coulvier-Gravier zeigt aber ausserdem noch mit Evidenz, dass die am seltensten beobachtete Richtung die aus Westen ist, die Richtungen aus Nord und Süd zeigen eine mittlere Menge von Meteoren. —

Später glaubte Coulvier-Gravier zu erkennen, dass das Gesetz der azimuthalen Variation in den verschiedenen Jahreszeiten nicht constant sei; deshalb müsse die Richtung der grössten Menge oder, wie er sie nennt, die Resultante, in einem beträchtlichen Winkel um den Ostpunkt herum oscilliren, indem sie bald nach Süden hin abweicht, was sich häufiger im Winter und Frühjahr ereignet, bald nach Norden hin, was häufiger im Sommer und Herbste stattfindet. End-

<sup>111)</sup> Introduction historique p. 159.

<sup>112)</sup> Ibid. p. 174.



lich ist diese azimuthale Variation von der zur Beobachtung ausgewählten Stunde der Nacht abhängig: so sind die Richtungen aus Nord gegen Mitternacht zahlreicher, als in den Morgenstunden; aus Ost kommen des Morgens mehr Meteore, als des Abends; aus Süd kommen mehr des Morgens und aus West mehr des Abends. Indessen gesteht Coulvier-Gravier selbst ein, dass diese letzteren Schlussfolgerungen noch nicht auf eine genügende Anzahl von Beobachtungen gestützt sind <sup>113</sup>). —

73. Da diese periodischen Gesetze das Resultat einer rein statistischen Aufstellung sind, so wird man jede Hypothese verwerfen müssen, welche für die Herleitung des Ursprunges der Sternschnuppen diese Gesetze nicht genügend berücksichtigt. Die Menge der Meteore hat, wie man sieht, eine offenbare Beziehung zu der Richtung der Cardinalpunkte des Horizontes für jeden Beobachter; diese Beziehung variirt mit den Stunden der Nacht und mit den Jahreszeiten: genau wie bei den Winden, wenn man ihre mittleren Richtungen und ihre mittlere Häufigkeit in Betracht zieht. Das war also die Klippe, an welcher die kosmische Theorie der Sternschnuppen nothwendigerweise Schiffbruch leiden musste! Und hieraus gerade entsprang die von Coulvier-Gravier in seinen zwei Büchern und in verschiedenen der Akademie in Paris eingereichten Abhandlungen entwickelte meteorologische Theorie. Cum hoc, ergo propter hoc: die Sternschnuppen wurden als Ankündiger aller grossen Bewegungen der Atmosphäre betrachtet; ihre Resultante wurde das Hauptkriterium der Vorherverkündigung des Wetters. Diese sonderbare Theorie mit allen ihren Unbestimmtheiten, Willkürlichkeiten und Widersprüchen, mit denen die Phantasie-Arbeiten gewöhnlich erfüllt sind, welche beanspruchen, die Wahrheit zu verkündigen, findet man in den oben erwähnten Schriften entwickelt, aber besonders in der Schrift: „Recherches sur

---

<sup>113</sup>) Ibid. p. 175. Ich erwähne hier nicht erst die Vertheilung der Meteorbahnen nach der Position der Centra der scheinbaren Bahnen, mit welcher sich Coulvier-Gravier und sein Nachfolger Chapelas in den letzten Zeiten so grosse Mühe gegeben haben. Das Centrum einer Bahn hängt von so vielen zufälligen Umständen ab, dass es mir unmöglich erscheint, hierauf die Grundlage irgend einer sicheren Untersuchung zu stützen. Ein und dasselbe Meteor kann das Centrum seiner Bahn an den verschiedensten Punkten des Himmels haben, je nachdem diese Bahn lang oder kurz, hoch oder tief ist, und je nachdem das Meteor aus einer mehr oder weniger schnell verbrennbaren Materie besteht. Auch ist bis jetzt dieses Studium noch ganz und gar fruchtlos geblieben und hat auch nicht das mindeste Licht in die Wissenschaft der Sternschnuppen gebracht.



les météores“<sup>114)</sup>, welche ein zum Theil auf diese Principien gegründetes Lehrbuch über Meteorologie ist, und in dem von G. Bresson 1866 publicirten Werke: „La prédiction du temps.“ —

Wenn der Instinct der Wahrheit, welcher uns bisweilen gegen die Gewalt allzu verfänglicher Argumentationen und gegen den Betrug des falschen Scheines wappnet, den grössten Theil der Astronomen und Physiker nicht auf dem richtigen Wege erhalten hätte, so würde die kosmische Theorie Gefahr gelaufen sein, von dem wissenschaftlichen Schauplatze zu verschwinden. Ja, sie war sogar schon von Männern von der in diesem Fache grössten Autorität verlassen worden: auch die oben von Humboldt angeführte Stelle zeigt, mit welcher Bedenklichkeit selbst die grössten Anhänger der kosmischen Theorie diese Art von wissenschaftlichen Fragen betrachteten. Und doch hatte schon Brandes vor vielen Jahren den Schlüssel zu diesen so höchst merkwürdigen Schwierigkeiten gegeben. Brandes, dessen Verdienste für die Sternschnuppenkunde nicht genug zu schätzen sind, schrieb i. J. 1827 folgende Worte:

„Ausser dem aus dem Attractionsgesetz hergenommenen Beweise giebt es noch zwei Erscheinungen, die die Bewegung der Erde geradezu beweisen. Die eine ist die Aberration des Lichtes . . . .; die zweite, die freilich noch erst genauer beobachtet werden muss, ist die scheinbare Bewegung der Sternschnuppen. Ich darf zwar dieser Erscheinung, da sie bis jetzt blos aus einer kleinen Reihe von Beobachtungen bekannt und aus diesen von mir hergeleitet ist, noch kein ganz entschiedenes Gewicht geben; aber ich zweifle nicht, dass künftige Beobachtungen sie bestätigen werden. Wenn man nämlich jene flüchtigen Lichterscheinungen, die unter dem Namen der Sternschnuppen bekannt sind, von mehreren Orten aus beobachtet, um zu bestimmen, wo denn der Punkt liegt, in welchem sie entstanden und verschwanden, so findet man zwar, dass die Richtung ihrer Bahnen sehr mannigfaltig ist, aber dennoch herrscht diejenige Richtung vor, welche der Bewegung der Erde in ihrer Bahn entgegengesetzt ist. Wären nun diese leuchtenden Erscheinungen Gegenstände, die an sich völlig ruhend im Weltenraume schwebten, so müssten sie ja den Bewohnern der unter ihnen hin mit grosser Geschwindigkeit fortbewegten Erde als hinter ihr zurückbleibend, oder als in der entgegengesetzten Richtung

---

<sup>114)</sup> Recherches sur les météores et sur les lois qui les régissent par Coulvier-Gravier Paris 1859. La prédiction du temps par G. Bresson Paris 1866.



fortrückend sich zeigen. Solche ganz stillstehende Massen sind sie nun zwar nicht, sondern sie scheinen eine mannigfaltige eigene Bewegung zu haben; aber dennoch lässt sich übersehen, dass jenes Zurückbleiben hinter der an ihr vorübereilenden Erde immer merklich bleiben muss. Und umgekehrt, da die Beobachtungen zeigen, dass der bei Weitem grösste Theil dieser Erscheinungen eine solche Bewegung über der Oberfläche der Erde hin hat, die der Richtung entgegengesetzt ist, welche wir als Richtung der Bewegung der Erde in ihrer Bahn ansehen, so geben diese Erscheinungen einen neuen und unerwarteten Beweis für die wahre Bewegung der Erde.“ Diese Schlussfolgerungen zog 1827 der treffliche Brandes in seinen Vorlesungen über die Astronomie<sup>115)</sup>.

Wie verschieden und mannigfaltig auch die Bewegungen der Sternschnuppen im Raume sein mögen, so viel ist klar, dass die Bewegung der Erde, indem sie in Verbindung mit diesen Bewegungen die relativen Bewegungen der Sternschnuppen hervorbringt, der Gesammtheit dieser letzteren Bewegungen einen gewissen Charakter und eine gewisse Beziehung zu der Richtung, nach welcher hin sich unser Planet bewegt, aufprägen wird. Hieraus folgt, dass die Gesammtheit der Meteore gewisse Gesetze der Position und der Häufigkeit in Bezug auf den Apex der Bewegung der Erde befolgen wird, d. h. in Bezug auf denjenigen Punkt der Himmelskugel, gegen welchen hin die Erde im Augenblicke der Beobachtung sich bewegt. Dieser Apex nimmt Theil an der täglichen Bewegung der Himmelskugel; er hat daher an jedem Tage eine periodische Variation der Höhe und des Azimuths. Er verschiebt sich längs der Ekliptik, indem er in einem Jahre die zwölf Zeichen derselben durchläuft: es entsteht hieraus eine jährliche Variation seiner Höhe und Richtung für eine gegebene Stunde des Tages. Man kann daher wohl vermuthen, dass die täglichen, jährlichen und azimuthalen Bewegungen des Apex eben so viele periodische Variationen der Häufigkeit und der Richtung der Meteore veranlassen: weitere Untersuchungen haben diese Ansicht glänzend bestätigt.

Als Herrick i. J. 1838 zu Newhaven beobachtet hatte, dass die vorherrschende Richtung der Sternschnuppen die von Nordost nach Südwest war, und dass ihre Menge in den Morgenstunden viel grösser war, als in den Abendstunden, erklärte er beide Erscheinungen aus dem von Brandes ange-

---

<sup>115)</sup> H. W. Brandes Vorlesungen über die Astronomie. Leipzig 1827 I. Bd. p. 158. 149. Denselben Gedanken findet man schon in seinen 1825 zu Leipzig veröffentlichten Beobachtungen über die Sternschnuppen angedeutet.



deuteten Principe. Die tägliche Variation wurde von Bompas 1857 gleichfalls theoretisch untersucht, welcher auch für sie das numerische Gesetz herzuleiten suchte, indem er annahm, dass die Geschwindigkeit der Meteore doppelt so gross als die Bahngeschwindigkeit der Erde sei<sup>116</sup>). A. S. Herschel gab 1864 die vollständige Theorie der jährlichen Variation, für deren Verhältnisse er eine genügende Anpassung an das beobachtete Resultat fand, wenn man die mittlere Geschwindigkeit der Meteore gleich der der Erde setzt<sup>117</sup>). Prof. Newton drückte 1865 die tägliche Variation in Formeln aus, um aus ihnen einige Aufklärungen über die mittlere absolute Geschwindigkeit der Meteore im Raume zu gewinnen: er gelangte zu dem Schlusse, dass die Geschwindigkeit grösser sein müsse, als die der Erde, und sich der der Kometen nähere<sup>118</sup>). Eine ähnliche Rechnung führte mich 1866 zu dem Schlusse (der allerdings auf eine etwas ungenügende Basis gestützt ist), dass die absolute Geschwindigkeit der Meteore dieselbe, wie die der Kometen, sei, nämlich wenig verschieden von der parabolischen<sup>119</sup>). Alle diese Untersuchungen erklärten schliesslich vollständig die Ursache der periodischen Gesetze der Sternschnuppen, und zwar vermittelt einfacher und gewöhnlicher Deductionen. Folgendes ist ein Auszug derselben. —

74. Wir haben in den §§. 67, 68, 69 gesehen, dass die Menge der Meteore und die Position des Apex in Verbindung mit einander stehen, und zwar der Art, dass, je höher der Apex über dem Horizonte des Beobachters ist, desto grösser, auch unter sonst gleichen Umständen, die Menge der in einem bestimmten Zeitraume gezählten Meteore sein muss. Die Meteore werden daher in denjenigen Stunden des Tages zahlreicher sein, in denen der Apex zu der oberen Culmination gelangen wird; ebenso in denjenigen Jahreszeiten, in denen der Apex den Meridian des Nachts in grösserer Höhe erreicht; endlich werden wir eine grössere Menge von Sternschnuppen von derjenigen Seite des Horizontes herkommen sehen, welche zu der Beobachtungszeit sich dem Apex am nächsten befindet. So wie die von der Sonne ausgestrahlte Licht- und Wärmemenge von den jährlichen und täglichen

---

<sup>116</sup>) Monthly Notices of the Astron. Soc. Vol. XVII p. 147.

148. Report of the Brit. Assoc. for the year 1857 p. 143.

<sup>117</sup>) Monthly Notices of the Astron. Soc. Vol. XXIV p. 133—135. 189.

<sup>118</sup>) American Journal of Science Vol. XXXIX p. 205. 6.

<sup>119</sup>) Lettera I al R. P. Secchi im Bulletino meteorologico tomo V. 1866.



Variationen der Position der Sonne abhängt, so wird die Menge der beobachteten Meteore der täglichen und jährlichen Bewegung des Apex folgen. Man kann also diesen Punkt (den Apex) als eine Art von meteorischer Sonne betrachten, als den Hauptmittelpunkt der Ausstrahlung der Sternschnuppen. Wir können die Zeit seines Aufgangs „meteorischen Morgen“, die Zeit seiner oberen Culmination „meteorischen Mittag“ nennen u. s. f. Somit werden wir am Himmel allen Bewegungen des Apex folgen können, indem wir uns dabei kurzer und klarer Ausdrücke bedienen. —

75. **Jährliche Bewegung des Apex.** Die Tangente an die krummlinige Bewegung der Erde befindet sich constant in der Ebene der Ekliptik, abgesehen von sehr kleinen Abweichungen, die von den ihre Bewegung störenden Kräften herrühren, deren Betrachtung aber hier ohne Nutzen ist. Der Winkel dieser Tangente mit dem Radiusvector weicht von dem rechten Winkel nie um mehr als  $58'$  ab. Im Verlaufe eines Jahres durchläuft also der Apex die Ekliptik des Himmels in fast gleichförmiger Bewegung, indem er in Länge hinter der Sonne um einen zwischen  $89^{\circ} 2'$  und  $90^{\circ} 58'$  veränderlichen Bogen zurückbleibt. Man kann ohne merklichen Fehler diese Distanz des Apex von der Sonne als constant und gleich  $90^{\circ}$  ansehen. Diese meteorische Sonne wird die grösste Declination in der Zeit des Herbstäquinocmiums haben und die grösste südliche Declination wird mit dem Frühlingsäquinocmium zusammenfallen; in den beiden Solstitien wird ihre Declination gleich Null sein. — Vom Sommer-Solstitium bis zu dem des Winters wird sie sich in nördlichen Parallelen befinden und in grösserer Höhe culminiren, als die Punkte des Aequators; das Gegentheil wird in den Monaten zwischen dem Winter- und Sommer-Solstitium erfolgen. In dem ersteren Zeitraume wird also eine grössere Menge von Meteoren fallen, als in dem zweiten, und hierin gerade besteht das Gesetz der jährlichen Variation (§. 71). —

76. **Tägliche Bewegung des Apex.** Die Differenz der leuchtenden Sonne und der meteorischen Sonne in Rectascension ist im Laufe eines Jahres veränderlich und kann von dem rechten Winkel fast um sechs Grade abweichen. Vernachlässigt man diesen Umstand, so kann man im Allgemeinen sagen, dass die obere Culmination, oder der meteorische Mittag um sechs Stunden dem gewöhnlichen Mittage vorhergeht und deshalb immer kurz vor oder nach 6 Uhr Vormittags stattfindet. Die untere Culmination entspricht dem Abend. Für die tägliche Variation der Meteore werden also die sechs Morgenstunden ein Maximum und die sechs Abendstunden ein Minimum bezeichnen; dies stimmt sehr genau



mit dem Resultate der im §. 70 mitgetheilten Beobachtungen überein. Dem Mittage und der Mitternacht muss eine mittlere Menge entsprechen. Hieraus ersieht man deutlich, dass die tägliche Periode sich über alle 24 Stunden erstreckt, und dass man von dieser Periode nur den der dunkelen Nacht entsprechenden Theil beobachten kann, da die Sternschnuppen in der Dämmerung nur wenig und am Tage selten sichtbar sind. Im Sommer kann man keine der beiden Culminationen des Apex beobachten, im Winter aber in unseren Gegenden alle beide. Der Aufgang der meteorischen Sonne (der meteorische Morgen) entspricht immer den Stunden um Mitternacht herum und ist deshalb das ganze Jahr hindurch zu beobachten, während der Untergang der meteorischen Sonne in unseren Breiten stets am Tage sich ereignet. —

77. Azimuthale Bewegung des Apex. Die meteorische Sonne culminirt im oberen Meridian gegen 6 Uhr Vormittags und im unteren Meridian gegen 6 Uhr Nachmittags. Von der ersteren dieser beiden Epochen während eines Tages bis zur zweiten befindet sie sich beständig auf der westlichen Halbkugel des Himmels, daher wird die der grössten Menge der Sternschnuppen entsprechende Gegend des Horizontes auf der ganzen Hälfte desselben sich befinden, welche die westlichen Richtungen enthält. Deshalb ist am Tage die vorherrschende Richtung der Sternschnuppen die von West und die der benachbarten Gegenden der Windrose; zu dieser Zeit aber können die Sternschnuppen nicht beobachtet werden. Während der Nacht, von 6 Uhr Abends bis 6 Uhr Morgens, befindet sich die meteorische Sonne stets auf der östlichen Halbkugel des Himmels: deshalb wird der Beobachter die grösste Menge von Sternschnuppen von Osten und von den benachbarten Richtungen herkommen sehen. Hierin besteht die allgemeine Erklärung der Variation nach dem Azimuth, welche das im §. 72 angeführte Gesetz vollständig bestätigt. —

78. Man kann auf diese Weise mittelst des Principes von Brandes alle Einzelheiten der periodischen Variationen, wenigstens in Betreff des Gesetzes ihrer Ab- und Zunahme, erklären, so dass diese Variationen, anstatt ein unüberwindliches Hinderniss gegen die kosmische Theorie der Meteore zu bilden, dieselbe vielmehr auf das Glänzendste bestätigen. Alle die so eben entwickelten Umstände können, wie man bemerkt, selbst auch dann noch ihre Geltung besitzen, wenn man eine vollkommene Gleichförmigkeit für das Herabfallen der Sternschnuppen von allen Richtungen des Raumes her nicht annehmen wollte. Wenn wir z. B. uns vorstellen, dass alle Meteore vorwiegend sich in der Nähe der Ebene der



Ekliptik bewegen, so werden wir ASS' (Fig. 11), anstatt als eine Kugel zu betrachten, nothwendigerweise als einen in dieser Ebene gelegenen Kreis ansehen müssen. Bei Annahme der Gleichförmigkeit der Richtungen und der absoluten Geschwindigkeiten in dieser Ebene hat man auch hier offenbar in der Richtung des Apex einen Punkt D der grössten Menge. Die Schlussfolgerungen werden übrigens in Allem den oben bisher entwickelten ähnlich sein; dasselbe lässt sich von andern Zwischenzuständen sagen, wenn sich z. B. die Sternschnuppen nicht sämmtlich in der Ebene der Ekliptik bewegen, sondern wenn ihre Bahnen sich nur in der Richtung dieser Ebene mehr, als in den dazu senkrechten, anhäufen. Wenn aber die Bahnen der Sternschnuppen im Raume keine Gleichförmigkeit nach allen Richtungen einer Ebene bewahren, sondern wenn sie dagegen eine einzige Richtung, oder mehrere fest bestimmte Richtungen zu verfolgen streben (z. B. wenn ihre Bewegungen sämmtlich rechläufig oder rückläufig, oder alle zur Sonne convergirend, oder von ihr divergirend, oder endlich nach einer bestimmten Himmelsgegend gerichtet wären), so dürfte die oben angenommene Erklärung nicht mehr annehmbar, oder wenigstens nicht mehr genau genug sein. Denn alsdann würden ausser der durch die Bewegung der Erde bestimmten optischen Verdichtung der Radiationen bei dem Apex noch ein oder mehrere Punkte der physischen Verdichtung existiren, gegen welche hin die Bahnen sich in Wahrheit, und nicht anscheinend, mehr und mehr verdichteten; das Phänomen würde also viel verwickelter werden. Dasselbe würde sich ereignen, wenn die absoluten Geschwindigkeiten der Sternschnuppen im Raume nicht gleichförmig wären, sondern die Tendenz hätten, nach gewissen Richtungen hin grösser, nach anderen hin kleiner zu sein. Die genaue Uebereinstimmung der oben entwickelten Theorie mit den Beobachtungen lässt indessen vermuthen, dass solche Anomalien entweder gar nicht existiren, oder nicht in der genügenden Stärke, um die aus der Annahme einer regelmässigen Vertheilung der Bewegungen hergeleiteten Schlussfolgerungen in merklicher Weise abschwächen zu können. Die geometrische Theorie der täglichen und jährlichen Variationen ist übrigens von mir in der sechsten Note entwickelt worden.

Weit gefährlicher scheint eine andere Schwierigkeit zu sein. Bei allen unseren bisherigen Betrachtungen haben wir vorausgesetzt, dass in jedem Augenblick ausserordentlich zahlreiche und um die Erde herum in ganz oder fast gleichförmiger Weise vertheilte Meteorströme auf die Erde herabkommen. Diese Voraussetzung ist aber von der Wahrheit sehr weit ent-



fernt; denn die Zahl der activen Ströme ist in allen Nächten sehr beschränkt, ihre Vertheilung und Menge hängt von unendlich vielen Zufälligkeiten ab und ist im Allgemeinen sehr unregelmässig. Betrachtet man daher die periodischen Variationen im Verlaufe einer einzigen Nacht, so werden die Erscheinungen weit davon entfernt sein, diejenige Regelmässigkeit und diejenigen Gesetze zu zeigen, welche wir oben kennen gelernt haben. Es kann sich nicht nur ereignen, dass die 10 oder 12 Radianten (angenommen, es seien so viele vorhanden) dieser Nacht unregelmässig vertheilt sind, sondern auch dass, wenn einer von den Meteorschauern einen ausserordentlichen Reichthum an Meteoren besitzt, das Gesetz der Häufigkeit der Meteore und ihrer Richtung hauptsächlich von diesem bestimmt werden wird. Glücklicherweise suchen wir nicht für jede einzelne Nacht die Gesetze, sondern diejenigen, welche für alle Nächte des Jahres oder wenigstens für eine grosse Zahl derselben zu mittleren Resultaten führen. Man kann daher auf eine Compensation der Umstände rechnen, sowie sie stattfinden würde, wenn alle Radiationspunkte des Jahres, deren es Hunderte oder Tausende giebt, gleichzeitig in einer einzigen Nacht thätig sein würden, deren Resultate also den mittleren Resultaten gleichkommen würden. Eine einigermaßen aufmerksame Prüfung wird alsdann ergeben, dass eine solche Zusammenfassung aller Nächte gestattet ist und die Endresultate mit keinem beachtenswerthen Fehler behaftet, wenn nur selbstverständlich alle Radianten auf die Ekliptik und auf den, als festen und einzigen Punkt betrachteten, Apex bezogen werden. Bei dieser Sachlage kann man das Problem der Art behandeln, als ob in jedem Augenblicke die Radiationspunkte in unendlicher Anzahl vorhanden wären und an Meteoren gleich zahlreiche Schauer hervorbrächten, wie wir es bei unseren Schlussfolgerungen vorausgesetzt haben. Man kann also festhalten, dass die Anhäufung der Sternschnuppen in einer bestimmten Anzahl von Strömen keine bedeutende Schwierigkeit für die Erklärung der periodischen Variationen veranlasst; freilich wird dann die Compensation der zufälligen Umstände minder vollkommen sein, wenn irgend ein an Zahl der Meteore überwiegender Strom, oder ein an Strömen zahlreiches System, die im Raume wenig verschiedene Bahnen haben, diejenigen ausserordentlichen Phänomene der reichen Sternschnuppenfälle veranlasst, welche zuerst die Aufmerksamkeit der gelehrten Welt auf diesen Gegenstand gelenkt haben. —



## Capitel VII.

### Die von der Erde oder von anderen Planeten auf die Bahn der Sternschnuppen ausgeübten Störungen.

79. Sobald die Erde einen Meteorstrom durchschneidet, erzeugt sie in diesem einen cylindrischen leeren Raum, dessen Axe die Richtung der relativen Bewegung der Meteore verfolgt (Fig. 18). Dieser leere Raum ist indessen nicht absolut leer, wenn man die anziehende Kraft der Erde berücksichtigt; er enthält Sternschnuppen, aber in geringerer Anzahl als der übrige Theil des Stromes und sein Durchmesser ist grösser, als der der Erde. Die Fig. 22 giebt eine genaue Vorstellung von diesem Vorgange. Die in dem Conoid mkn enthaltenen Sternschnuppen werden von der Erde festgehalten, auf welche sie alle mit derselben Geschwindigkeit herabfallen: diejenigen, deren Bahnen die Oberfläche des Conoids selbst bilden, werden ihren Weg auf dem hinteren Aste ihrer Hyperbel ap, bq fortsetzen; endlich werden die Meteore, welche ausserhalb des Conoids bleibend nahe bei der Erde vorbeigehen, in Bezug auf dieselbe eben so viele Hyperbeln mit dem Brennpunkte in O beschreiben und mehr oder weniger von ihrer Bahn abgelenkt werden. In einer Entfernung von nur wenigen Erddurchmessern wird diese Ablenkung aber schon unmerklich. Die Erde also, ohne in dem Strome einen völlig leeren Raum zu bilden, verstreut die Meteore längs einer Linie, welche in der Richtung ihrer relativen Bewegung liegt (oder in der entgegengesetzten Richtung von der des für die Zenithattraction und die tägliche Aberration corrigirten Radiationspunktes). —

80. Irgend ein Planet O (Fig. 23), dessen Masse (die



der Erde als Einheit genommen)  $\mu$  sei, wird in der Entfernung  $\varrho$  die Anziehung  $\mu g \frac{r^2}{\varrho^2}$  ausüben, wenn man, wie gewöhnlich, mit  $g$  die der Entfernung  $r$  vom Mittelpunkte entsprechende Erdschwere bezeichnet. Ist nun  $U$  die relative, nicht gestörte Geschwindigkeit eines Meteoros,  $W$  die dem Punkte  $M$  (für welchen  $OM = \varrho$  ist) entsprechende Geschwindigkeit, so erhält man für einen beliebigen Punkt  $M$  der hyperbolischen Bahn folgende Relation, analog der des §. 52:

$$W^2 = U^2 + 2 \mu g \frac{r^2}{\varrho} \dots (1).$$

Bezeichnet man mit  $M$  im Besonderen das Perigäum des Meteoros<sup>120)</sup> und mit  $\varrho$  die Distanz dieses Perigäums, also die grösste Annäherung der beiden Gestirne, so giebt die Formel (1) alsdann eine Beziehung zwischen der Distanz des Perigäums und deren Geschwindigkeit  $W$  im Perigäum. Zwischen der Distanz des Perigäums  $OM$  und dem Winkel  $2\psi = QDP$ , welcher von den Asymptoten der Hyperbel gebildet wird, hat man weiter eine für die Folge sehr nützliche Relation, nämlich:

$$\text{tang } \frac{1}{2} \psi = \frac{U}{W} \dots (2).$$

Die Abweichung, welche der Planet  $O$  in Bezug auf die Richtung der relativen Bewegung des Meteoros hervorbringt, wird offenbar durch den Winkel  $PDN = 180^\circ - 2\psi$  dargestellt; die Formeln (1) und (2) geben uns daher ein sehr einfaches Mittel, die Abweichung der Bewegung zu berechnen, wenn die Distanz des Perigäums gegeben ist, und diese letztere, wenn die Abweichung gegeben ist. Dies setzt, um genau zu sein, voraus, dass die Aeste der Hyperbel ihren Asymptoten in denjenigen Punkten parallel sind, in welchen das Meteor in die Attractionssphäre des Planeten eintritt und wo es aus derselben heraustritt<sup>121)</sup>. Dehnt sich die Attractionssphäre nur über einige Zehnfache des Durchmessers irgend eines Planeten aus, so kommt diese Hypothese der Wahrheit stets so nahe, dass man den kleinen Unterschied vernachlässigen kann. —

81. Da die hyperbolische Bewegung in Bezug auf das Perigäum symmetrisch ist, so muss die relative Geschwindigkeit des Meteors in den Punkten seines Eintritts in die Attractionssphäre und seines Austrittes aus derselben die nämliche

<sup>120)</sup> Um nicht neue Wörter bilden zu müssen, nenne ich im Allgemeinen Perigäum den Punkt, in welchem das Meteor dem Planeten am nächsten kommt, also denjenigen, welchen man Periplanet nennen müsste.

<sup>121)</sup> Ueber die Definition des Radius dieser Attractionssphäre s. §. 83.



sein; man kann ferner annehmen, dass sie gleich der relativen Geschwindigkeit  $U$  des Planeten und des Meteores sei, welche stattfinden würde, wenn diese beiden Himmelskörper sich nicht anzögen. So können wir also schliessen, dass die Anziehung eines Planeten, welcher nahe bei einem Meteore vorbeigeht, keine Aenderung der Geschwindigkeit seiner relativen Bewegung bewirkt, sondern nur eine Aenderung der Richtung dieser Bewegung. Diese Aenderung wird, wie man leicht einsieht, um so grösser sein, je kleiner die relative nicht gestörte Geschwindigkeit  $U$  sein wird und jemehr die beiden Körper sich einander in dem Augenblicke nähern werden, in welchem das Meteor zu seinem Perigäum gelangen wird. —

82. Betrachtet man die absoluten Bewegungen, so wird das Resultat ein verschiedenes (Fig. 24). Es sei  $XY$  die von dem Planeten im Raume beschriebene Bahn; seine Bewegung in dieser Bahn kann man als geradlinig und gleichförmig annehmen für die ganze Zeit, in welcher das Meteor innerhalb der Attractionssphäre des Planeten sich befindet. Es sei ferner  $OA$  die Geschwindigkeit dieser Bewegung und  $BA$  die Richtung und Grösse der absoluten, nicht gestörten Geschwindigkeit des Meteores<sup>122)</sup>; der in  $O$  angenommene Planet wird alsdann das Meteor in der Richtung und relativen Geschwindigkeit  $BO$  auf sich zu fallen sehen. Bei dem Durchgange des Meteores durch das Perigäum wird es durch die Anziehung des Planeten eine gewisse Ablenkung erleiden, deren Grösse von der Distanz des Perigäums abhängt; anstatt also in  $OF$  seine Bahn in Bezug auf den Planeten fortzusetzen, wird es, ohne seine relative Geschwindigkeit zu ändern, die Richtung einer der Seiten des geraden Kegels  $DOC$ , dessen Winkel an der Spitze  $FOC = FOD$  gleich der erwähnten Ablenkung ist, verfolgen. Es sei  $OG$  diese neue Richtung der relativen Bewegung. Um nun die Richtung der absoluten Bewegung zu erhalten, welche nach dem Aufhören der Einwirkung des Planeten stattfindet, wird es genügen, die neue relative Bewegung mit der Bewegung des Planeten zusammen zu setzen. Macht man also  $OE = OA$ ,  $OG = OB$  und zieht man  $EG$ , so wird diese Linie die Grösse und Richtung der absoluten Geschwindigkeit des Meteores nach seinem Austritte aus der Actionssphäre des störenden Planeten darstellen und die Bewegungsrichtung wird die von  $E$  nach  $G$  sein. —

83. Stellt man sich ferner vor, dass der Planet und das Meteor von der Sonne angezogen wird, so wird  $BA$  die Bahn-

<sup>122)</sup> Die Richtung dieser und der anderen Geschwindigkeiten ist in der Figur durch Pfeile angedeutet.



geschwindigkeit des Meteores in dem Augenblicke darstellen, in welchem es in die Attractionssphäre eindringt, und EG die Geschwindigkeit in der neuen Bahn nach Beendigung der Einwirkung des Planeten. Die Dimensionen der Attractionssphäre kann man in Bezug auf die Entfernung von der Sonne als verschwindend klein annehmen, aber zugleich als sehr gross in Bezug auf die Distanz im Perigäum des Meteors. Auf diese Weise ist man von jeder Hypothese über den Radius dieser Sphäre befreit, durch welche die Untersuchung aller dieser Probleme bedeutend verwickelt werden würde, und welche die Herleitung allgemeiner Folgerungen verhindern würde. Bei diesen unseren Voraussetzungen (welche in der Praxis für jeden Planeten, wegen ihrer im Verhältniss zur Sonnenmasse sehr geringen Masse, annehmbar sind) können wir für BA die Bahngeschwindigkeit nehmen, welche dem Begegnungspunkte oder dem Punkte der grössten Annäherung der beiden Bahnen entspricht, und EG als die neue demselben Punkte entsprechende Bahngeschwindigkeit ansehen. Die Untersuchung der Einwirkungen, durch welche ein Planet die Gestalt der Bahnen der Meteore umändern kann, wenn diese sich ihm nähern, ohne mit ihm zusammenzutreffen, wird hierdurch ein sehr einfaches Problem, ohne dass gleichwohl die Schlussfolgerungen aufhören dürften, der Wahrheit sehr nahe zu kommen. Unser Verfahren ist im Wesentlichen eine Vereinfachung des für ähnliche Fälle von Laplace entwickelten und durch Burckhardt und Le Verrier auf den Lexell'schen Kometen angewendeten Verfahrens<sup>123)</sup>. —

84. Anstatt eines einzigen Meteores wollen wir jetzt einen ganzen Strom betrachten, welcher nach dem Planeten O zu mit der relativen Geschwindigkeit  $OB=U$  fällt. Von den Elementen dieses Stromes werden einige von dem Planeten festgehalten, die anderen aber eine mehr oder weniger grosse Ablenkung erfahren; die grösste Ablenkung wird für diejenigen Meteore eintreten, welche ganz dicht bei der Oberfläche des Planeten vorbeigegangen sind. Nennt man R den Radius des Planeten, (wobei man diesen als kugelförmig betrachtet) und behält man die anderen Benennungen der vorhergehenden

<sup>123)</sup> S. die Formeln von Laplace in der *Mécanique céleste* livre IX. §. 12, wo eine ähnliche Vereinfachung angegeben ist. Die Rechnung von Burckhardt s. ebenda § 13; die Berechnung von Leverrier mit bedeutenden Vervollkommnungen s. *Annales de l'Observatoire de Paris*, vol. III. p. 203. Für dasselbe Problem können auch noch die Formeln von **Lambert** benutzt werden. (Ueber die Kometen, welche der Erde nahe vorbeigehen. Berliner Jahrbuch 1802), sowie die von **Lagrange** (Sur l'origine des Comètes Conn. des temps 1814). Den Beweis dieser letzteren Formel hat **Oriani** in dem XXVII. Bande der *Monatl. Correspondenz* von Zach gegeben.



Formeln bei, so kann man die erwähnte grösste Ablenkung  $D$  nach folgenden Formeln berechnen:

$$\left. \begin{aligned} W^2 &= U^2 + 2 \mu g \frac{r^2}{R}, \\ \text{tang } \frac{1}{2} \psi &= \frac{U}{W}; D = 180^\circ - 2 \psi \end{aligned} \right\} (3).$$

Nach der Störung werden alle Meteore, welche dicht bei der Oberfläche des Planeten vorbeigegangen sind, bei ihrer relativen Bewegung die Richtungen der Erzeugungslinien des Kegels COD, dessen Winkel an der Spitze FOD =  $D$  ist, annehmen. Die anderen Sternschnuppen, welche in einer grösseren Distanz des Perigäums vorbeigehen, werden offenbar eine geringere Ablenkung erfahren haben; deshalb wird ihre relative Bewegung nach der Störung die Richtung einer im Innern dieses Kegels befindlichen Linie verfolgen. Hieraus folgt, dass die Richtungen der absoluten Bewegungen nach der Perturbation in dem schiefen Kegel CED enthalten sein werden, der mit dem anderen Kegel die Basis gemein und zur Spitze den durch OE = OA bestimmten Punkt E hat. Die absoluten Geschwindigkeiten, welche vor der Störung als unter sich gleich angenommen werden können, werden alsdann ungleich geworden sein und zwischen gewissen Grenzen variiren können. —

85. Wenn wir den für uns interessantesten Fall betrachten, bei welchem die Erde der störende Planet ist, so ist der Winkel  $D$  der grössten Ablenkung für einen gegebenen Meteorstrom gleich dem Doppelten des grössten Werthes  $\Phi$  der Zenithattraction, welche diesem Strome entspricht; hiervon kann man sich leicht überzeugen. Der Winkel an der Spitze FOD wird spitz sein und im Allgemeinen zwischen  $34^\circ 40'$  und  $1^\circ 24'$  betragen (§. 54). Die grösste und kleinste absolute Geschwindigkeit nach der Störung (also auch die grösste und kleinste grosse Axe der neuen von den Sternschnuppen durchlaufenen Bahnen) entsprechen, wie man leicht sieht, denjenigen beiden Erzeugungslinien der konischen Fläche, welche in der Ebene des Dreieckes AOB liegen; macht man also OC = OD = OB, so werden EC und ED die beiden extremen Geschwindigkeiten sein. Ihre Berechnung aus den gegebenen OA und OB hängt nur von der Auflösung der Dreiecke OAB, EOC, EOD ab, in Verbindung mit der Anwendung der Formeln (3), in welchen für den gegenwärtigen Fall  $\mu = 1$ ,  $R = r$  ist <sup>124</sup>).

<sup>124</sup>) Liegt der Punkt E im Innern des Kegels, so erfordern diese Sätze einige Modificationen, welche man leicht errathen kann. Ebenso auch wenn (wie es sich ereignen kann, sobald Jupiter oder Saturn der störende



86. Indem ich vermittelst so einfacher Principien die Einwirkung der Erdanziehung auf die Novembermeteore untersuchte, fand ich, dass der Winkel der grössten Ablenkung der relativen Bewegung für die der Erde ganz nahe vorbeigehenden Meteore  $1^{\circ} 28'$  ist. Nimmt man überdies die Umlaufszeit dieser Meteore zu 33,25 Jahren an, so kann in den oben angegebenen extremen Fällen die aus der Störung hervorgehende Bahn bis auf 28,67 Jahre Umlaufszeit verkürzt, oder bis zu 49,92 Jahren Umlaufszeit verlängert werden. Die Einwirkung des Vorüberganges der Meteore nahe bei der Erde kann sich also, wie man sieht, als eine sehr beträchtliche Veränderung der Umlaufszeit für uns darstellen. Obgleich daher die dichtere Wolke der Leoniden nicht sehr lang ist und nur jedesmal nach  $33\frac{1}{4}$  Jahren der Erde begegnen kann, so hat doch ein kleiner Theil derselben, nämlich derjenige, welcher bei einem der Umläufe nahe bei der Erde vorbeigeht, Gelegenheit gehabt, seine Perioden zu verändern und in Gestalt eines sehr dünnen ringförmigen Stromes die ganze Bahn völlig einzunehmen. Daher kommt es vielleicht auch, dass fast in jedem Jahre sich Spuren der Radiation der Leoniden zeigen, während die grossen Erscheinungen so selten sind. —

87. Bei der Annahme, dass eines dieser Meteore bei dem nahen Vorbeistreifen desselben bei der Erde und bei seinem weiteren Fortgange in seiner relativen Bewegung die grösste Ablenkung von  $1^{\circ} 28'$  erfahren habe, wird, wenn dasselbe nach einem oder nach mehreren Umläufen auf die Erde fällt, wie man leicht begreifen kann, sein Radiationspunkt von dem der anderen Meteore um  $1^{\circ} 28'$  entfernt worden sein, wohl verstanden, wenn man seine Position für die Zenithattraction und die tägliche Aberration corrigirt. Nimmt man ferner an, dass durch einen ganz besonderen Zufall das Meteor bei seiner zweiten Annäherung an die Erde ihre Oberfläche fast streift und dann weiter fortgeht, und dass es alsdann nach einem oder nach mehreren Umläufen auf die Erde fällt, so wird der Radiationspunkt in einer dritten Position beobachtet werden, welche  $1^{\circ} 28'$  von der zweiten und um weniger als  $2^{\circ} 56'$  von dem Radiationspunkte der anderen Meteore entfernt ist.

Ungeachtet der in der That radicalen Aenderungen in den Umlaufszeiten können also die Radiationspunkte der gestörten Novembermeteore von dem Radiationspunkte der

---

Planet ist) der Winkel an der Spitze FOD grösser als  $90^{\circ}$  ist und der Kegel mehr als die Hälfte des Raumes um seine Spitze einnimmt. Die vollständige Discussion aller hierbei sich darbietenden Fälle würde zu weit führen und auch ohne Nutzen sein.



grösseren Anzahl sich um keine beträchtliche Grösse entfernen. Es wird auch einer sehr grossen Anzahl von Umläufen bedürfen, damit eine Sternschnuppe mehrere Male in solcher Nähe bei der Erde vorbeigeht, dass ihr Radiationspunkt jedesmal eine merkliche Verrückung erleidet. —

88. Dies führt zu dem Schlusse, dass die Genauigkeit des Phänomenes der Radiation bei ihrer steten Verminderung im Laufe der Jahre gleichwohl noch sehr gross sein kann, obgleich die Bahnen der einzelnen Meteore schon auseinander gestreut worden sind und zugleich beträchtliche Variationen in ihren Umlaufszeiten und Excentricitäten erfahren haben. Ein Meteorstrom kann mit fast geometrischer Genauigkeit von einem Punkte aus ausstrahlen und dennoch können seine Elemente im Raume sehr verschiedene Bahnen beschreiben. Diese Erscheinung muss besonders bei denjenigen Strömen hervortreten, deren Bewegung fast genau parabolisch ist. Die Anziehung der Erde wird alsdann einen Theil der Bahnen in Ellipsen von sehr verschiedenen Umlaufszeiten umwandeln, welche auch sehr kurz sein können, andere in Hyperbeln. So wird der Strom nach und nach zerstreut, indem er den Sternenträumen fortwährend einen Theil seiner Glieder überlässt. Diejenigen Meteore hingegen, welche dahin gelangt sind, sich in einer Bahn von kurzer, also auch einer mehr festen Umlaufszeit festzusetzen, können eine sehr grosse Anzahl von Umläufen vollenden, ohne in eine Hyperbel oder Parabel abgelenkt zu werden. So werden z. B. die Leoniden stets einen sehr stabilen Strom bilden und keines der sie zusammensetzenden Meteore wird von der Erde in eine offene Bahn abgelenkt werden können, ausser nach vielen Vorbeigängen in grosser Nähe unserer Planeten.

89. Die Meteorströme, welche von, dem Antiapex nahe gelegenen, Radiationspunkten herkommen und deshalb der Erde in ihrer Bewegungsrichtung nahezu folgen, haben viel weniger stabile Radiationspunkte in Folge des grossen Werthes, den die Abweichung der die Ströme bildenden Meteore erreichen kann. Diese Abweichungen können bei den Meteoriten, welche dicht bei der Erde vorbeigehen, bis zu  $34^{\circ} 40'$  steigen; so gross ist die Verrückung, welche der Radiationspunkt eines von der Erde gestörten Meteorites in diesen Fällen erleiden kann. Noch ist hier zu bemerken, dass für die Ströme, um welche es sich hier handelt, die Anzahl der von ihrer Bahn merklich abgelenkten Sternschnuppen ohne Vergleich bedeutend grösser ist, als für die Ströme, welche, ähnlich dem Novemberstrome, fast in der Richtung des Apex herkommen. Deshalb werden die Ströme, deren Radiationspunkte des Abends culminiren, mehr als die anderen zu den anscheinend spora-



dischen Meteoren Anlass geben. Dies sind auch diejenigen Ströme, bei welchen die Erde wesentlichere Aenderungen der grossen Bahnaxen und der Umlaufszeiten bewirkt. —

90. In der Absicht zu erforschen, bis zu welchem Punkte die anziehende Kraft der Erde die grossen Axen der Meteorbahnen verändern kann, habe ich die Umstände untersucht, unter welchen ein mit parabolischer Geschwindigkeit begabter Körper sich bewegen muss, damit er vermöge der störenden Einwirkung der Erde in eine Bahn mit der möglichst kleinsten Umlaufszeit gebracht werde. Bei der Annahme, dass die Erde ihre mittlere Geschwindigkeit besitze, fand ich, dass die Bewegung rechtläufig sein und dass die Parabel die als kreisförmig angenommene Erdbahn unter einem Winkel von  $18^\circ$  schneiden muss. In diesem Falle muss der die Parabel beschreibende Körper der Erde sich vor seinem Vorbeigange zeigen (Fig. 25) und dicht bei der äussersten Oberfläche ihrer Atmosphäre vorbeistreifen. Er wird alsdann aus der Attractionssphäre unseres Planeten hervortreten, indem er eine um  $25^\circ$  gegen die Erdbahn geneigte Richtung verfolgt, und wird um die Sonne eine Ellipse beschreiben, deren halbe grosse Axe 2,65 und deren Umlaufszeit 4,31 Jahre ist. Dies ist die kürzeste Bahn, in welche die Anziehung der Erde einen ursprünglich mit parabolischer Bewegung begabten Körper, welcher sich der Erde ein einziges Mal nähert, bringen kann. Die Masse dieses Körpers muss hierbei, wie selbstverständlich ist, als null in Bezug auf die Masse der Erde angenommen werden.

Setzt man die Distanz des Perigäums, wenn alle anderen Umstände dieselben bleiben, gleich dem doppelten Erdradius, so wird die halbe grosse Axe der neuen Bahn 5,04 sein und ihre Umlaufszeit 11,31 Jahre betragen. In der folgenden kleinen Tabelle sind die, einigen verschiedenen Distanzen des Perigäums entsprechenden, halben grossen Axen der neuen Bahnen und die Umlaufszeiten gegeben, wenn man im Uebrigen stets die oben beschriebenen Umstände annimmt.

| Distanz des Perigäums<br>in Erdradien. | Halbe grosse Axe<br>der neuen Bahn. | Entsprechende<br>Umlaufszeit. |
|----------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| 1                                      | 2,65                                | 4,31                          |
| 2                                      | 5,04                                | 11,31                         |
| 3                                      | 7,43                                | 20,26                         |
| 4                                      | 9,90                                | 31,15                         |
| 5                                      | 12,46                               | 43,98                         |
| 6                                      | 14,77                               | 56,76                         |
| 7                                      | 17,19                               | 71,27                         |
| 8                                      | 19,64                               | 87,04                         |
| 9                                      | 22,08                               | 103,75                        |
| 10                                     | 24,45                               | 120,90                        |



Wenn wir annehmen, dass die Parabel, statt von einem einzigen Körper, von einem Meteorstrom durchlaufen wird, so werden einige Körper desselben in Bahnen von kurzer Umlaufszeit, wie die bisher angegebenen, abgelenkt werden, andere in Bahnen von längerer Umlaufszeit; und ein beträchtlicher Theil (man kann rechnen die Hälfte) in hyperbolische Bahnen. Man sieht also, wie verschieden die Wirkungen sind, welche einem und demselben Durchgange der Erde durch einen Meteorstrom entsprechen. —

91. Die durch die Störungen der anderen Planeten auf die Sternschnuppen ausgeübten Wirkungen, wenn die Meteore in geringer Entfernung von dem Mittelpunkte der Planeten vorbeigehen, sind von derselben Art als die von der Erde hervorgebrachten und sind nur durch den Grad ihrer Intensität verschieden. Die unteren Planeten verursachen geringere Wirkungen, als die Erde, sowohl wegen ihrer kleineren Masse, als auch weil die relative Geschwindigkeit der Meteore, welche ihnen begegnen, bei sonst gleichen Umständen grösser ist. Bei Mars sind wegen seiner kleineren Masse die Wirkungen weniger merklich, als bei der Erde. Dagegen wird bei den grossen Planeten, von Jupiter aufwärts, die Einwirkung der grösseren Masse noch durch die viel kleineren relativen Geschwindigkeiten der Meteore verstärkt; die von ihnen verursachten Ablenkungen der Meteorbahnen können eine solche Grösse erreichen, von welchen man bei den vier der Sonne nächsten Planeten kein Beispiel hat. Um eine vergleichende Uebersicht der Intensität zu gewinnen, mit welcher die verschiedenen Planeten die Sternschnuppen abzulenken im Stande sind, habe ich folgende kleine aus zwei Theilen bestehende, Tabelle berechnet.

In dem ersten Theile ist ein Meteorstrom angenommen, welcher, indem er bei seiner parabolischen Bewegung dieselbe Richtung als der Planet befolgt, den Planeten in der Weise erreicht, dass er für einen auf dem Planeten befindlichen Beobachter eine Radiation in dem dem Apex entgegengesetzten Punkte hervorbringt. Es ist alsdann die relative Geschwindigkeit (also für die parabolischen Ströme die kleinstmögliche), die beschleunigte Geschwindigkeit, die Zenithattraction im Horizonte (also die grösstmögliche) und die von denjenigen Meteoren des Stromes, welche dicht bei der Oberfläche des Planeten vorbeigehen, erlittene Ablenkung gegeben (welche auch die grösste von allen durch den Planeten selbst hervorgebrachte Ablenkungen ist). In der letzten Spalte ist sodann (in Radien des Erdäquators) die Grenzdistanz angegeben, in welcher ein Meteor des erwähnten Stromes vorbeigehen muss, damit die Anziehung des Planeten die Richtung



seiner Bahn noch um vier Grade ablenken kann. Die Bahnen der Planeten sind als kreisförmig und die Bewegungen als gleichförmig angenommen.

In dem zweiten Theile der Tabelle ist ein Meteorstrom angenommen, dessen parabolische Bewegung der Bewegungsrichtung des Planeten genau entgegengesetzt ist, welcher also auf demselben einen von dem Apex herkommenden Meteor-schauer veranlasst. Hier ist ebenfalls die relative Geschwindigkeit (also die grösstmögliche), die beschleunigte Geschwindigkeit, die Zenithattraction im Horizonte (welche die kleinstmögliche ist) und die von denjenigen Meteoren des Stromes, welche ganz nahe bei der Oberfläche des Planeten vorbeigehen, erlittene Ablenkung gegeben. In der letzten Spalte ist alsdann in Radien des Erdäquators die Grenzdistanz aufgeführt, in welcher ein Meteor dieses Stromes vorbeigehen muss, damit die Anziehung des Planeten die Richtung seiner Bahn noch um vier Grade ablenken kann.

In dieser Tabelle sind auch noch die Zahlenangaben der Massen und der äquatorealen Halbmesser der verschiedenen Planeten, welche der Berechnung der Tabelle zu Grunde gelegt sind, aufgeführt, und zwar nach der Bestimmung und der Autorität von Prof. Littrow.



| Namen des Planeten. | Aequatoraler Radius<br>(Rad. der Erde = 1) | Masse<br>(Masse der Erde = 1) | Theil I. Ströme in der dem Apex<br>entgegengesetzten Richtung. |                                             |                                        |                       |                                                                   |                                        | Theil II. Ströme in der Richtung des Apex.  |                                        |                                                                       |                                                                   |  |  |
|---------------------|--------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--|--|
|                     |                                            |                               | Relative<br>Geschwindigkeit<br>(Meter)                         | Beschleunigte<br>Geschwindigkeit<br>(Meter) | Zenith-<br>Attraction<br>im Horizonte. | Grösste<br>Ablenkung. | Distanz ent-<br>sprechend der<br>Ablenkung von<br>4° (Erdradien). | Relative<br>Geschwindigkeit<br>(Meter) | Beschleunigte<br>Geschwindigkeit<br>(Meter) | Zenith-<br>Attraction<br>im Horizonte. | Ablenkung für<br>die den Planeten<br>nahezu strei-<br>fenden Meteore. | Distanz ent-<br>sprechend der<br>Ablenkung von<br>4° (Erdradien). |  |  |
| Mercur              | 0,390                                      | 0.08                          | 19483                                                          | 20129                                       | 1° 52'                                 | 3° 44'                | —                                                                 | 113558                                 | 113671                                      | 0° 3'                                  | 0° 7'                                                                 | —                                                                 |  |  |
| Venus               | 0,969                                      | 0.86                          | 14432                                                          | 17717                                       | 12.22                                  | 24.43                 | 7,30                                                              | 83081                                  | 83743                                       | 0.35                                   | 1.10                                                                  | —                                                                 |  |  |
| Erde                | 1,000                                      | 1.00                          | 12120                                                          | 16482                                       | 17.20                                  | 34.40                 | 11,74                                                             | 70642                                  | 71520                                       | 0.42                                   | 1.24                                                                  | —                                                                 |  |  |
| Mars                | 0,545                                      | 0.12                          | 9818                                                           | 11129                                       | 7.10                                   | 14.20                 | 2,15                                                              | 57224                                  | 57465                                       | 0.14                                   | 0.29                                                                  | —                                                                 |  |  |
| Jupiter             | 11,640                                     | 338,00                        | 5314                                                           | 60419                                       | 79.56                                  | 159.51                | 20651                                                             | 30971                                  | 67686                                       | 40.48                                  | 81.37                                                                 | 608                                                               |  |  |
| Saturn              | 10,010                                     | 101,00                        | 3924                                                           | 35694                                       | 77.27                                  | 154.54                | 11314                                                             | 22873                                  | 42212                                       | 33. 6                                  | 66.12                                                                 | 333                                                               |  |  |
| Uranus              | 4,790                                      | 17,00                         | 2767                                                           | 21221                                       | 75. 1                                  | 150. 2                | 3830                                                              | 16129                                  | 26512                                       | 27.22                                  | 54.44                                                                 | 113                                                               |  |  |
| Neptun              | 4,450                                      | 18.00                         | 2227                                                           | 22571                                       | 78.45                                  | 157.30                | 6349                                                              | 12890                                  | 25898                                       | 37. 5                                  | 74. 9                                                                 | 187                                                               |  |  |



Diese Tabelle zeigt den ungeheuren Unterschied zwischen den vier der Sonne näheren Planeten und den vier entfernteren bezüglich ihres Verhaltens gegen die Meteore. Bei den vier ersteren vermehrt die Anziehung des Planeten die relative Geschwindigkeit nur um ein Geringes; bei den vier letzteren ist die beschleunigte Geschwindigkeit ein beträchtliches Vielfaches der relativen Geschwindigkeit. Bei den ersteren findet ein grosser Unterschied in dem Herabfallen der Meteore statt, je nachdem sie von dem Apex oder von dem ihm entgegengesetzten Punkte herkommen; bei den anderen ist dieser Unterschied von keiner Bedeutung, und man kann beinahe sagen, dass die Meteore auf sie fast alle mit derselben Geschwindigkeit fallen. Bei den grossen Planeten hat die Zenithattraction stets einen sehr grossen Werth; die auf ihnen zu beobachtenden Sternschnuppenphänomene müssen eine viel grössere Verwicklung zeigen, als auf der Erde. Diese Planeten können bei den Meteoriten, welche nahe bei ihrer Oberfläche vorbeigehen, Ablenkungen der relativen Bewegung von  $150^\circ$  und noch mehr hervorbringen. Endlich kann man bemerken, bis auf welche ungeheure Entfernungen hin diese Planeten die Richtung der Meteore um eine merkliche Grösse ablenken können. In dem günstigsten Falle kann die Anziehung des Jupiters ein Meteor noch um  $4^\circ$  ablenken, welches in einem Abstände von 20651 äquatorealen Radien der Erde also um wenig geringer, als die Entfernung der Erde von der Sonne bei ihm vorbeigeht; während ein Meteor, welches in einer Entfernung von 608 Erdhalbmessern bei dem Planeten vorbeigeht, auch in dem ungünstigsten Falle sicherlich eine Ablenkung von mehr als  $4^\circ$  erleiden wird<sup>125</sup>). Diese Einwirkungen sind nur wenig geringer bei dem Saturn, dem Uranus und dem Neptun. —

92. Wenn einer dieser grossen Planeten einen Meteorstrom durchschneidet, oder auch nur um einige Hunderte von Erdradien ihm nahe kommt, so werden die Meteore des, dem Planeten am nächsten befindlichen, Theiles des Stromes in ihrer Bahn so stark abgelenkt werden, dass für diesen Theil der Strom als zerstört wird betrachtet werden können; die Einwirkung wird der eines heftigen Sturmwindes auf eine

---

<sup>125</sup>) Man muss hierbei beachten, dass es sich hier nur um die relative Bewegung handelt. Für die absolute Bewegung ist die Ablenkung gewöhnlich weniger bedeutend. Uebrigens ist zu bemerken, dass diese Resultate auf die Annahme gestützt sind, dass die Attractionssphäre in Bezug auf die Entfernung des Planeten von der Sonne sehr klein sei; daher sind sie auf Meteore, welche in grossen Entfernungen vorbeigehen, nicht mehr streng anwendbar. Daher können die oben für Jupiter (und man kann auch sagen für Saturn) angegebenen Resultate nur eine angenäherte Idee von dem geben, was wirklich in der Natur vor sich geht. —



Rauchsäule ähnlich sein. Entfernt sich der Planet, so werden die nachfolgenden, weniger bedeutend gestörten Meteore fortfahren, die ursprüngliche Bahn im Raume zu beschreiben, aber immerhin wird der Strom durch eine Lösung seiner Continuität die Spuren der Thatsache aufweisen, welche nur in einem langen Verlaufe der Zeit allmählich werden verwischt werden können. Wenn dagegen die kleinste Entfernung zwischen dem Planeten und dem Strome nicht geringer ist, als einige Tausende des Erdradius, so wird man nicht mehr eine wirkliche Auflösung eines Theiles des Stromes haben, sondern längs eines sehr beträchtlichen Abschnittes desselben werden die Bahnen mehr oder weniger stark abgelenkt sein, und der Strom wird an dieser Stelle nicht mehr seine ursprüngliche Regelmässigkeit besitzen. Indem sich diese Umstände mehrere Male wiederholen, werden schliesslich alle Theile des Stromes mehr oder weniger von der ursprünglichen Bahn entfernt werden, so dass für die partiellen Bahnen der Meteore nichts weiter als ein nur sehr unvollkommener Parallelismus übrig bleibt und das Bündel der Bahnen selbst breiter und unregelmässiger wird. Alsdann wird es eben so viele Radiationspunkte geben, als Meteore vorhanden sind, oder besser gesagt, man wird keinen eigentlich sogenannten Radiationspunkt mehr haben, sondern nur die den Beobachtern wohlbekannte Erscheinung, nämlich eine Radiationsgegend, in welcher hie und da specielle Radiationscentra für gewisse Gruppen von Meteoren sich zeigen, welche identische oder fast identische Störungen erleiden. Endlich kann es so weit kommen, dass das ursprüngliche Band zwischen den Meteoren für die Beobachtung nicht mehr erkennbar ist: alsdann bleibt nichts weiter übrig, als diese Meteore in die Kategorie der sporadischen zu versetzen. —

93. Nicht minder interessant als die Wirkungen dieser speciellen Perturbationen, welche durch die grosse Annäherung der Meteorbahnen an die Planetenbahnen entstehen, sind die Wirkungen der allgemeinen und continuirlichen Perturbationen auf die Meteore, wo diese sich auch im Planetensysteme oder in den angrenzenden Himmelsräumen befinden mögen. Ich werde im Verlaufe dieser Schrift zeigen, dass eine kosmische Masse, mag es ein Komet oder ein anderer Körper sein, welcher bei einem grossen Volum nur eine sehr geringe Menge von Materie besitzt, in Meteorströme aufgelöst werden muss, alle Male dann, wenn seine eigene innere Cohäsionskraft von den verschiedenen Anziehungen überwunden wird, welche die Körper des Sonnensystems auf seine verschiedenen Theile ausüben. Anfangs wird sie in diesem Falle längs ihrer eigenen Bahn Materie zurücklassen, und wenn diese Bahn



vermöge der erwähnten Anziehungen in der Zeit, in welcher sich die Auflösung vollzog, elliptisch geworden ist, so werden wir eine geschlossene Meteorbahn haben und längs einer Strecke derselben wird eine gewisse Menge von Materie vertheilt sein. Da eine kleine Verschiedenheit der Umlaufszeiten für die verschiedenen Theile der aufgelösten Masse unvermeidlich ist, so werden einige von ihnen zurückbleiben und andere wieder der Art voraneilen, dass nach einer gewissen Zeit alle Theilchen der meteorischen Materie sich in einen Strom nach der Länge der respectiven grossen Axe angeordnet befinden. Da ferner diese nun in verschiedene Stellungen zu den Planeten des Sonnensystemes kommen, so werden sie von denselben verschiedene Störungen ihrer Bahnelemente erleiden und die Bahnen, welche Anfangs fast ganz identisch waren, werden nach und nach von einander abweichen. Wenn man die erste Bahn aller Theilchen als eine einzige Linie betrachten kann, so wird man, wie leicht begreiflich ist, nach einer beliebigen Zeit die neuen Bahnen der einzelnen Theilchen als auf einer Fläche befindlich ansehen können.

Aber ich sage noch weiter, dass, wenn der primitive Strom ein lineares System war (dessen transversale Dimensionen in Bezug auf die Dimensionen der Bahn null oder verschwindend klein sind), auch nach einer beliebigen Zeit die Gesammtheit des Stromes, indem sich die Bahnen der einzelnen Theilchen über eine Fläche hin zerstreuen, nicht aufhören wird, ein lineares System zu bilden. Wenn, in der That, alle Theilchen von Anfang an eine gemeinsame Ellipse beschrieben haben, so werden nach einem gegebenen Zeitraume die Variationen der Elemente der von den einzelnen Theilchen beschriebenen Bahn von einem Theilchen zum andern nur um eine einzige Variable sich unterscheiden, nämlich um den von ihnen auf der primitiven Bahn in dem Augenblicke des Beginnes der Perturbationen eingenommenen Ort. Deshalb werden sich auch die Coordinaten der erwähnten Theilchen im Raume für irgend einen gegebenen Augenblick von einem Theilchen zum andern nur um diese eine Variable unterscheiden; dies setzt nothwendig voraus, dass alle Theilchen auf einer continuirlichen Linie liegen.

Nach einer gewissen Zahl von Umläufen werden die schnelleren Theilchen um einen vollen Umlauf den weniger schnellen vorangerückt sein. Wenn die Bahnen der einen und der anderen identisch wären, so würde der Strom sich in Form eines Ringes schliessen. Während der Zwischenzeit aber zwischen der ersten Zerstreuung des Meteorschwarmes und der Schliessung des Ringes (und dieser Zeitraum kann ein sehr langer sein) haben die Störungen mehr oder weniger be-



deutende Unterschiede unter den Elementen hervorgebracht <sup>126)</sup>; deshalb wird im Allgemeinen der Strom in sich selbst ringförmig zurückkehren, aber ohne sich genau zu schliessen, und sich, wie zu Anfang, fortwährend verlängern. Wenn die schnelleren Theile den weniger schnellen um zwei Umläufe vorangeeilt sind, so wird der Strom sich in zwei völligen Umdrehungen über sich selbst gewendet, also zwei Schraubenwindungen gebildet haben. Indem sich dies in dem langen Verlaufe der Zeiten fortsetzt, werden diese Schraubenwindungen sich vervielfältigen und der Strom wird dadurch ein ringförmiger Haufen werden. Sobald die Bahn der Erde zwei oder mehreren Windungen des Haufens begegnet, wird man, gleichzeitig oder in nahezu gleichen Zeitepochen, zwei oder mehrere Radiationspunkte von etwas verschiedener Position haben. Jemehr sich die Schraubenwindungen vervielfältigen, desto seltener werden offenbar in jeder derselben die Sternschnuppen und desto ärmer werden die entsprechenden Radianten, bis zu dem Punkte hin, dass man sie einzeln nicht mehr erkennen kann. Anstatt eines Radiationspunktes hat man alsdann eine diffuse Radiation, deren Meteore von einer mehr oder weniger ausgedehnten Gegend des Himmels herkommen. —

94. Auf diese Weise kann man sich vielleicht das sonderbare Phänomen der vielfachen Radiation erklären. Es ist seit langer Zeit und von vielen Beobachtern bemerkt worden, dass zu gewissen festlichen Sternschnuppenepochen einige benachbarte Radiationen gleichzeitig oder fast gleichzeitig in ausnahmsweise Thätigkeit treten. Das Augustphänomen ist sicherlich von dieser Beschaffenheit; gleichfalls scheinen die Meteorschauer, die sich in der Mitte und zu Ende October, zu Anfang December und zu Ende Januar zeigen, von mehreren benachbarten Radianten herzukommen, welche zusammen in Thätigkeit treten. Doppelte Radianten sind ebenfalls von Greg in seinem Katalog citirt. Unter den von Zezioli beobachteten Radianten kann man sehr bestimmte Bestätigungen dieser Thatsache finden, wenn man die Positionen der Gruppe der Radianten, welche die Nummern 1, 6, 12, 13, 18, 21, die sich vom 6. bis. 29. Januar ausdehnen, unter sich vergleicht. Eine zweite Gruppe scheint von den No. 8, 10, 14, 20, 22, 24 gebildet zu werden und erstreckt sich vom 18. bis zum 31. Januar. Gleicherweise scheinen die Radianten No. 46, 49 50,

<sup>126)</sup> Nur die säcularen Variationen werden für alle Theilchen dieselben geblieben sein. Aber der nicht säculare Theil kann bei den sehr langgestreckten Bahnen leicht der Haupttheil werden. Auch, wenn es sich um Bahnen handelt, welche die der Planeten schneiden oder ihnen sehr nahe kommen, kann das Wort säculare Variation in der That seine Bedeutung verlieren.



51 (vom 1.—9. April) unter sich zusammenzuhängen, ebenso die Radianten No. 99, 109, 112, 116, 120, 126, welche vom 18. bis 31. Juli thätig sind. Endlich ist die Gesammtheit der No. 132, 137, 142, 144 bemerkenswerth, welche innig mit No. 139, dem berühmten Radianten der Perseiden, verbunden ist. Ein Theil dieser Coincidenzen ist vielleicht das Werk des Zufalles, sicherlich aber nicht alle. Hierzu wirken wahrscheinlich die verschieden combinirten planetarischen Störungen zusammen.

---



## Capitel VIII.

### Entstehung der Meteorströme.

95. Ich habe schon in anderen Theilen dieser Schrift (§. 34 und 37) die Fundamentalhypothese angeführt, welche die natürlichste Erklärung der Beziehung zwischen den Kometen und den Meteoren zu geben scheint und zugleich zu wahrheitsgemässeren Vorstellungen über die Entstehung der Meteorströme führt. Diese Hypothese besteht in der Annahme, dass die Ströme aus der Auflösung hervorgehen, welche bei den Kometen erfolgt, wenn die gegenseitige Anziehung ihrer Theile nicht mehr hinreicht, um die auflösende Kraft der Sonne oder irgend eines anderen Gliedes des Planetensystems zu überwinden<sup>127</sup>). Mit dem Namen Komet wird hier ferner jeder beliebige Himmelskörper bezeichnet, welcher sich der Sonne in einem sehr in die Länge gezogenen Kegelschnitte nähert. —

Untersuchen wir nun etwas genauer, auf welche Weise eine solche Auflösung vor sich gehen kann, so ist vor Allem klar, dass sie nur in einem Körpersysteme von sehr kleiner Dichtigkeit sich ereignen kann. Wir wollen der Einfachheit halber ein System von kugelförmiger Gestalt betrachten, welche gerade diejenige der Kometen zu sein pflegt, sobald sie ihren Schweif noch nicht entwickelt haben. Wenn wir zwei materielle Theilchen dieses Systemes nehmen, das eine A im Mittelpunkte, das andere B ausserhalb desselben in einer beliebigen Position befindlich, so wird das zweite nach dem ersten hin mit einer gewissen Kraft angezogen. Da aber die von der Sonne auf das Theilchen B ausgeübte Anziehung in Stärke und Richtung etwas verschieden von derjenigen ist,

---

<sup>127</sup>) Hier wie pag. 51 nenne ich auflösende Kraft die Verschiedenheit der Anziehungen, welche die Sonne oder ein Planet auf die verschiedenen Theile eines Kometen ausübt.



welche die Sonne auf A ausübt, so wird hieraus eine störende Kraft entstehen, welche dahin streben wird, nicht nur B um A sich drehen zu lassen, sondern auch B von A zu entfernen, oder dem Theilchen A zu nähern. Vernachlässigt man die Einwirkung der Umdrehung, so wird die Erwägung der anderen Einwirkung uns begreifen lassen, dass diese die Kraft der inneren Anziehung, welche B mit dem Mittelpunkt A verknüpft, zu vermindern oder zu verstärken strebt.

Ich will hier nicht die sehr einfache und bekannte Construction wiederholen, durch welche man für jeden gegebenen Fall die Grösse und Richtung der störenden Kraft erhält; diese Construction findet man von vielen populären astronomischen Schriftstellern angegeben, wenn diese es unternehmen, eine elementare Darstellung der Theorie des Mondes zu geben<sup>128)</sup>. Das Resultat ist, dass diese störende Kraft die centrale Attraction für diejenigen Theile der kugelförmigen Masse zu vergrössern strebt, welche sich in Quadratur mit der Sonne in Bezug auf das Centrum A befinden, und dass sie die centrale Anziehung für diejenigen Theile, welche sich mit der Sonne und dem Centrum A auf einer geraden Linie befinden, zu vermindern strebt. Die auflösende Kraft der Sonne wirkt also vorzugsweise auf diejenigen Theile der Masse, welche sich längs des Radiusvectors befinden; wenn in diesen Theilen die auflösende Kraft grösser ist, als die innere centrale Kraft, so wird eine Auflösung, wenigstens eine theilweise, sicherlich stattfinden<sup>129)</sup>. Um die Grenzen der Stabilität des kugelförmigen Systemes festzustellen wird es daher hinreichen, zu erwägen, welche Beziehung zwischen der Centralkraft und der auflösenden Kraft für diejenigen Punkte existirt, welche auf der durch die Sonne und das Centrum des kugelförmigen Systemes gehenden geraden Linie gelegen sind. —

96. Betrachten wir zunächst ein kugelförmiges, aus kleinen, von einander getrennten, Körper zusammengesetztes System von homogener Structur und Dichtigkeit; es sei  $r$  sein Radius und  $2d$  das mittlere Intervall zwischen zwei benachbarten Körpern<sup>130)</sup>. Es sei ferner  $m$  die für alle Körper als

<sup>128)</sup> Man kann diese u. A. finden in: David Gregory, *Astronomiae physicae et geometricae Elementa*; in Sir J. Herschel *Outlines of Astronomy* etc.

<sup>129)</sup> Ich will hier bemerken, dass die Auflösung auch schon eher beginnen kann, als die auflösende Kraft dahin gelangt, die innere centrale Kraft zu überwinden; hier genügt es aber, eine Grenze festzustellen, jenseits welcher die Auflösung nothwendigerweise beginnen muss.

<sup>130)</sup> Nach dem Vorgange von Poisson nenne ich bei einem homogenen Systeme von kleinen Körperchen mittleres Intervall den Durchmesser der, in ihrem Volumen dem im Mittel von jedem Körperchen ein-



gleich angenommene Masse jedes Körpers. Betrachten wir nun einen dieser auf der Oberfläche des Systemes gelegenen Körper, so wird dieser nach dem Centrum der Kugel hin mit einer Kraft angezogen werden, die sich durch  $\frac{\Sigma m}{r^2}$  ausdrücken lässt, wenn  $\Sigma m$  die Gesamtmasse des Systemes ist. Da aber jeder Körper in dem Systeme ein Volumen einnimmt, welches dem einer Kugel von dem Radius  $d$  gleich ist, so wird man, wenn die Anzahl der Körper sehr gross ist,  $\Sigma m = m \cdot \frac{r^3}{d^3}$  haben; die Anziehung an der Oberfläche wird also durch  $\frac{m}{d^3} r$  ausgedrückt werden, und wenn die Grösse  $\frac{m}{d^3}$  constant ist, wird die Anziehung dem Radius  $r$  proportional sein.

Dieser Satz gilt auch noch dann, wenn man irgend einen beliebigen inneren Punkt des Systemes in Betracht zieht, wobei man nur alsdann unter  $r$  die Entfernung dieses Punktes vom Centrum versteht.

Es sei ferner  $R$  die Entfernung des System-Mittelpunktes von der Sonne; nennt man nun  $M$  die Masse der Sonne, so wird die Anziehung der Sonne für den Mittelpunkt  $\frac{M}{R^2}$  sein.

Wenn wir die beiden Punkte der Kugeloberfläche betrachten, welche sich auf dem von der Sonne nach dem Mittelpunkte gezogenen Radiusvector befinden, so wird offenbar die Anziehung der Sonne für den entfernteren Punkt  $\frac{M}{(R+r)^2}$  und für den näheren Punkt  $\frac{M}{(R-r)^2}$  sein. Die Differenz zwischen diesen Anziehungen und der Anziehung der Sonne für den Mittelpunkt wird die störende Kraft der Sonne ergeben, welche für die beiden erwähnten Punkte respective

$$\frac{M}{R^2} - \frac{M}{(R+r)^2} \text{ und } \frac{M}{(R-r)^2} - \frac{M}{R^2}$$

sein und dahin streben wird, beide Körper von dem Mittelpunkte der Kugel zu entfernen. Wenn die Dimensionen dieser Kugel sehr klein sind im Vergleich zu ihrer Entfernung von der Sonne, so wird man die Quadrate von  $\frac{r}{R}$  vernachlässigen können; alsdann wird in beiden Fällen die repulsive störende

---

genommenen Raume, gleich grossen Kugel. Hiernach ist das Volumen dieser Kugel, multiplicirt mit der Anzahl der Körperchen, gleich dem Gesamtvolumen des Systemes.



Kraft, oder die auflösende Kraft, einfach  $\frac{2 M r}{R^3}$  sein. Nimmt man  $M$  und  $R$  als constant an, so ist, wie man sieht, diese Kraft der Entfernung  $r$  der beiden Punkte von dem Kugelmittelpunkte proportional.

Vergleicht man nun die anziehende Centrakraft  $\frac{m}{d^3} r$  mit der repulsiven störenden Kraft der Sonne  $\frac{2 M r}{R^3}$ , so wird man die Auflösung des Systemes erhalten, wenn die zweite die erstere übertrifft, also wenn

$$\frac{2 M}{R^3} > \frac{m}{d^3} \text{ ist.}$$

Die so definirte Stabilitätsgrenze hängt nicht von den Dimensionen der Kugel, sondern nur von der Menge der in ihr enthaltenen Materie und von ihrer Entfernung von der Sonne ab. Diese Grenze bleibt für alle inneren und äusseren Punkte des Systemes dieselbe, so dass, ist sie einmal überschritten, die Arbeit der Auflösung in einem Theile nicht eher stattfinden wird, als in einem anderen, sondern gleichzeitig in allen Schichten der kugelförmigen Masse beginnen wird.

Man kann sich zum Beispiel fragen, welches das mittlere Intervall  $2 d$  in einem Systeme von sehr kleinen Massen, deren Gewicht ein Gramm ist, sein müsse, damit dieses in der Entfernung  $1$  von der Sonne (wohlverstanden, wenn die Einheit der Radius der Erdbahn ist), als stabil beharren kann. Indem ich die Dichtigkeit der Sonne  $1^{1/2}$  mal grösser als die des Wassers annahm, fand ich aus der vorhergehenden Formel, dass die Dichtigkeitsgrenze durch  $2 d = 1,86$  Meter gegeben ist. Wenn also in einer Wolke von Körperchen von je  $1$  Gramm Gewicht die mittlere Entfernung jedes Körperchens von dem anderen grösser ist als  $1,86$  Meter, so wird die auflösende Kraft der Sonne nicht zögern, diese Wolke zu zerstören, indem sie jedes ihrer Theilchen in eine unabhängige Bahn ablenkt. —

97. Wenn das kugelförmige System nicht aus getrennten Theilen, sondern aus zusammenhängender Materie besteht, so wird man leicht die Beziehung zwischen der Dichtigkeit  $\delta$  des Systems und derjenigen Entfernung  $R$  von der Sonne bestimmen können, welche den Beginn der Auflösung des Systemes bezeichnet. Durch eine ähnliche Rechnung, wie die vorhergehende, findet man, dass diese Beziehung gegeben ist durch:

$$\frac{2 M}{R^3} > \frac{4 \pi}{3} \delta.$$



Nimmt man die Dichtigkeit der Sonne  $1\frac{1}{2}$  mal so gross als die des Wassers an und drückt man die Masse  $M$  durch diese Dichtigkeit und die bekannten Dimensionen der Sonnenkugel aus, so erhält man den äquivalenten Ausdruck

$$R^3 \delta < \frac{1}{3310000},$$

wobei die Einheit für die Dichtigkeit  $\delta$  die des Wassers und die Einheit für  $R$  der Radius der Erdbahn ist. Diese Formel führt zu Resultaten, welche auf den ersten Blick unglaublich erscheinen. Macht man nämlich z. B.  $R$  gleich der halben grossen Axe der Erdbahn, so erhält man für den Grenzwert der Dichtigkeit eines stabilen Haufens  $\delta = \frac{1}{3310000}$ ; dies giebt für je 10 Kubikmeter drei Gramme Materie und entspricht der Dichtigkeit der Atmosphäre bei der Temperatur von  $0^\circ$  und unter dem Drucke von 0,177 Millimeter. Ein homogener Haufen von Materie von diesem Grade der Dichtigkeit wird also schon beginnen, sich unter dem Einflusse der Sonne aufzulösen, sobald seine Entfernung von diesem Körper kleiner wird als der Radius der Erdbahn. Diese Dichtigkeit aber ist viel grösser als die, welche man der Atmosphäre der Kometen gewöhnlich beimisst.

Wenn man anstatt eines Haufens von gleichförmiger Dichtigkeit (mag er continuirlich sein oder aus getrennten Körperchen bestehen) ein kugelförmiges System mit einer nach dem Mittelpunkte zu wachsenden Dichtigkeit betrachtet, so wird die Auflösung im Inneren und Aeusseren der ganzen Masse nicht gleichzeitig stattfinden, sondern an den äussersten Schichten beginnen. Bei der progressiven Annäherung des Kometen an die Sonne wird die auflösende Kraft zunehmen und in anderen mehr inneren und dichteren Schichten vorzuherrschen beginnen; es wird sich auch ereignen können, dass schliesslich der Komet ganz und gar sich auflöst, wenn der innerste Kern nicht so dicht ist, um der zum Maximum der Intensität gelangten auflösenden Kraft zu widerstehen. —

98. Wir haben weiter oben (§. 95) vorausgesetzt, dass die auflösende Kraft von der Sonne oder von einem Planeten herrühren kann. Man könnte nun in Erwägung der Kleinheit der planetarischen Massen im Vergleich zur Sonnenmasse glauben, dass von den Planeten hierbei nicht sehr die Rede sein könne. Beachtet man aber die oben entwickelten Formeln, so wird man erkennen, dass die von einem Körper auf einen Kometen ausgeübte auflösende Kraft nicht nur der Masse  $M$  des Körpers direct proportional ist, sondern auch umgekehrt proportional dem Kubus  $R^3$  der Entfernung dieses Kör-



pers von dem Kometen. Wird also die Masse  $M$  nach einem gewissen Verhältnisse kleiner, so wird es hinreichen, auch  $R$  nach der Kubikwurzel dieses Verhältnisses kleiner zu machen, damit die Wirkung dieselbe bleibe. So wird z. B. die auflösende Kraft des Jupiters, dessen Masse 1048 mal kleiner als die Masse der Sonne ist, der auflösenden Kraft der Sonne in einer 10,17 mal kleineren Entfernung gleichkommen, da 10,17 die Kubikwurzel von 1048 ist. Aus einem ähnlichen Grunde findet man, dass Saturn die Kometen in einer 15,2 mal kleineren Entfernung, als die Sonne, mit einer gleich starken Kraft zerstört, wie die Sonne. Hiernach ist der Antheil der Planeten bei Bildung der Meteorströme weit bedeutender, als man gewöhnlich glaubt. In der folgenden kleinen Tabelle ist für jeden Planeten der Werth des Verhältnisses gegeben, nach welchem man die Entfernung eines Kometen verringern muss, damit die auflösende Kraft des Planeten der der Sonne gleichkömmt; die Masse der Sonne ist gleich 1 angenommen.

| Planet. | $\frac{1}{M}$ | $\sqrt[3]{\frac{1}{M}}$ |
|---------|---------------|-------------------------|
| Mercur  | 4316550       | 162,8                   |
| Venus   | 412150        | 74,4                    |
| Erde    | 354020        | 70,7                    |
| Mars    | 2994800       | 144,2                   |
| Jupiter | 1048          | 10,2                    |
| Saturn  | 3502          | 15,2                    |
| Uranus  | 20900         | 27,6                    |
| Neptun  | 20000         | 27,1                    |

99. Es giebt drei verschiedene Prozesse der Auflösung, durch welche ein Komet ganz oder zum Theil in einen Meteorstrom verwandelt werden kann. Der erste findet statt, wenn der Komet, indem er ohne merkliche Störungen einen sehr langgestreckten Kegelschnitt durchläuft, sich der Sonne bis zu einer Distanz  $R$  nähert, welche kleiner als die der Stabilitätsgrenze entsprechende ist (§. 96 und 97). Wenn der Komet ganz und gar von gleichförmiger Dichtigkeit ist, so wird er sich völlig auflösen; in dem wahrscheinlicheren Falle einer nach dem Mittelpunkte hin zunehmenden Dichtigkeit, wird er successive seine äussersten und dünneren Theile verlieren, und wenn der Kern von einer beträchtlichen Dichtigkeit ist, so wird die Auflösung nur partial nicht total sein. Es kann auch vorkommen, dass die Hitze der Sonne bei der grossen Annäherung im Perihelie die Schwächung der inneren Kräfte begünstigt und die Zerstörung des Weltkörpers beschleunigt. In jedem Falle werden die losgetrennten Theile



der Kometen Bahnen beschreiben, die sich sehr wenig von der ursprünglichen Bahn des Kometen unterscheiden; daher wird die Kometenmaterie sich längs der Bahn vertheilen, indem sie einen mehr oder weniger grossen Bogen derselben einnimmt. Ist die Bahn elliptisch, so werden die kleinen Unterschiede in den Umlaufszeiten der verschiedenen Theile des Stromes schliesslich sich anhäufen; der Strom wird sich allmählich verlängern und schliesslich die ganze Bahn einnehmen. Ist die Bahn dagegen parabolisch oder hyperbolisch, so wird die Zerstreuung der losgelösten Kometenmaterie fortwährend zunehmen nach Massgabe der Vergrösserung der Entfernung dieser Meteore von der Sonne; es wird aber hierdurch nie ein wirklicher Strom entstehen. Hier ist also die Einwirkung der Sonne stets die Ursache der Auflösung.

Die zweite Art der Auflösung findet statt durch den unmittelbaren Einfluss eines Planeten, bei dem der Komet sehr nahe vorbeigeht; dies ist kein seltener Fall. Die den Kometen auflösende Kraft des Planeten kann alsdann so gross werden, dass sie den Kometen ganz oder zum Theil zerstört. Die verschiedenen Theile des aufgelösten Kometen werden um die Sonne wenig verschiedene Bahnen beschreiben, und so wird ein Meteorstrom ohne die Einwirkung der Sonne entstehen. Man kann sich auch leicht einen aus beiden vorigen Fällen zusammengesetzten Fall vorstellen, bei welchem die Auflösung zugleich von dem Planeten und von der Sonne bewirkt wird, sei es, dass die beiden Gestirne bei günstiger Stellung zu einander mit ihren gleichzeitig combinirten Kräften zusammenwirken, sei es, dass ein Gestirn die von dem andern begonnene Arbeit fortsetzt. Auch hier wird der Meteorstrom nur dann geschlossen und stabil sein, wenn die durchlaufene Bahn nach der Begegnung mit dem Planeten elliptisch ist.

Endlich kann ein Komet durch die Einwirkung der Sonne mit Hülfe des mittelbaren Einflusses eines Planeten aufgelöst werden, bei dem er sehr nahe vorbeigeht. Wir können uns nämlich vorstellen, dass ein Komet Anfangs eine Bahn beschreibt, deren Periheldistanz gross genug ist, dass bei ihm die erste oben erwähnte Art und Weise der Auflösung nicht stattfinden kann. Nehmen wir nun an, dass er einem Planeten sich soweit nähert, dass er in Folge der Störung durch denselben eine merkliche Aenderung in seiner eigenen Bahn erleidet. Es wird sich ereignen können, dass die Periheldistanz in der neuen Bahn kleiner als die Grenze  $R$  der Auflösung wird; der Komet wird bei dem Durchgange durch das neue Perihel sich ganz oder zum Theil auflösen, und wenn die neue Bahn elliptisch ist, so erhalten wir ebenfalls einen Meteorstrom. —



100. Alle diese drei Arten der Erzeugung der Ströme scheinen möglich, die letztere aber weniger wahrscheinlich zu sein, als die beiden anderen. Damit nämlich ein Planet die Periheldistanz eines Kometen in merklicher Weise ändern kann, muss er nothwendigerweise diesen eine lange und starke Störung erleiden lassen. Dies ist aber nur dann möglich, wenn der Komet dem störenden Planeten sich bis auf eine sehr kleine Entfernung nähert; bei dieser wird im Allgemeinen die auflösende Kraft des Planeten grösser sein, als diejenige, welche die Sonne in den gewöhnlichen Fällen bei dem Perihele des Kometen ausüben kann.

Um dies an einem Beispiele zu erläutern, wollen wir die Bahn der November-Meteore betrachten, deren Periheldistanz 0,98 ist. Wenn wir annehmen, dass ein Komet von ehemals parabolischer Bahn durch eine Störung des Jupiters dahin gebracht werden könnte, diese Bahn zu beschreiben, so finden wir durch eine Berechnung, deren ausführliche Wiedergabe hier nicht am Platze ist<sup>131)</sup>, dass während dieses hypothetischen Ereignisses der Komet dem Jupiter bis auf eine Entfernung sich hat nähern müssen, die kleiner ist als 0,0132. Nun ist bei dieser Entfernung die den Kometen auflösende Kraft des Jupiters (wenn alle anderen Umstände gleich bleiben) 390 mal grösser, als die der Sonne bei der Entfernung 0,98. Wenn wir also finden, dass der Komet bei dem Eintritt in die neue Bahn aufgelöst ist, so wird es für uns fast gewiss sein, dass die Auflösung nicht von der Sonne, sondern vom Jupiter bewirkt worden ist.

Wenn wir annehmen, dass, anstatt des Jupiters, Saturn der störende Planet gewesen ist, so findet man, dass die kleinste Entfernung zwischen dem Kometen und dem Saturn, während der Umwandlung der früheren parabolischen Bahn in die neue Bahn, die Grösse 0,00425 nicht hat übersteigen können; bei dieser Grenze ist die auflösende Kraft des Saturns 3500 mal grösser als die der Sonne in der Entfernung 0,98.

Wenn wir endlich mit Le Verrier annehmen, dass Uranus der störende Planet sei, so wird die kleinste Entfernung zwischen Uranus und dem Kometen 0,00054 nicht haben übersteigen können; bei dieser Grenze ist die auflösende Kraft des Uranus 300000 mal grösser als die der Sonne in der Entfernung 0,98.

Die dritte Art der Erzeugung der Meteorströme scheint also nur für die Kometen von sehr kleiner Periheldistanz an-

---

<sup>131)</sup> Man findet diese Berechnung in den „Note e Riflessioni sulla Teoria astronomica delle stelle cadenti“ §. 91–92.



genommen werden zu können, für welche die auflösende Kraft der Sonne einen ausserordentlichen Grad der Intensität erreichen kann.

Man kann hier die Bemerkung machen, dass in der Nähe des Perihels mit der auflösenden Kraft der Attraction sich die von der Sonnenwärme hervorgebrachten inneren auflösenden Kräfte verbinden können, Kräfte, welche nicht in merklicher Weise erregt werden, wenn der Komet nahe bei einem Planeten vorbeigeht. Es scheint aber nicht, dass die Einwirkung der Sonnenwärme in dem hier angeführten Sinne thätig ist; alt und bekannt ist in der That die Beobachtung von Valz, dass das Volumen des Kopfes der Kometen bei der Annäherung zum Perihel in Wirklichkeit in vielen Fällen sich vermindert, anstatt (wie es eigentlich geschehen zu müssen scheinen möchte) zuzunehmen. Diese Thatsache zeigte sich noch neuerdings bei den letzten Erscheinungen des Encke'schen und des Brorsen'schen Kometen, wie es aus den Messungen von Schmidt hervorzugehen scheint. Obgleich es schwierig ist, hiervon eine zuverlässige Erklärung zu geben, so scheint es doch möglich, dass die Auflösung der Kometen bei der Annäherung zur Sonne durch diesen Umstand erschwert werden könne. —

101. Man könnte nun fragen, was sich ereignen würde, wenn, anstatt eines einzigen Körpers von begrenzter Ausdehnung, wie z. B. anstatt eines Kometen, ein System von mehreren Kometen sich der Sonne näherte, oder ein vielfacher Komet, dessen einzelne Theile eine zu kleine Masse besitzen oder von einander zu weit entfernt sind, um gegenseitig eine merkliche Anziehung auszuüben. In diesem Falle wird derjenige unter den Körpern, welcher der Sonne am nächsten ist, mit grösserer Kraft angezogen werden, als die anderen und daher bei seinem geschwinderen Falle zur Sonne bei seinem Fortschreiten in der Bahn sich von den anderen lostrennen. Bei der Zunahme der Entfernung zwischen dem ersten Körper und den zurückbleibenden wird die Sonne offenbar auf den ihr näheren Körper mit einer immer mehr und stärker überwiegenden Kraft einwirken; daher wird auch der Zwischenraum zwischen den Körpern jederzeit grösser werden. Die verschiedenen Theile, welche zuerst am Himmel ein einziges System bildeten, werden nun schliesslich in sehr weit von einander abstehenden Zeiträumen zur Sonne fallen. Dies ist vielleicht die Erklärung der von Prof. Hoek entdeckten Thatsache, dass gewisse Kometen, welche in Zwischenzeiten von fast zwei Jahrhunderten erschienen und durch ihr Perihel gegangen sind, lange Zeit vorher dieselbe Gegend des Himmels



eingenommen und wahrscheinlich ein einziges System gebildet haben <sup>132)</sup>).

Was aber, wie wir gesehen haben, bei einem vielfachen, aus wenig zahlreichen Theilen zusammengesetzten Systeme sich ereignet, dürfte auch dann noch seine Geltung haben können, wenn der aus den Tiefen des Himmels angezogene Körper eine Anhäufung sehr kleiner und dünner Theilchen wäre, eine Art von kosmischem Staube, der einen Nebel bilden könnte von derselben Ausdehnung wie unser Sonnensystem, oder, wenn man will, von einer noch grösseren. Auch hier wird sich der Haufen, indem die Sonne die ihr näheren Theile desselben weit mehr beschleunigt, in die Länge ziehen; indem nun das Vorseilen der stärker angezogenen Theile vor dem weniger stark angezogenen in rapider Progression zunimmt, wird der Haufen, wie man leicht zeigen kann <sup>133)</sup>, ein langer und geschlossener Strom von Körperchen werden, welche fast alle dieselbe Bahn beschreiben, aber zur Sonne in um so verschiedenere Epochen gelangen werden, je grösser der ursprüngliche Haufen war. Dieser wird auf einem sehr langgestreckten fast parabolischen Bogen sich vertheilt befinden und eine mehr oder weniger lange Zeit gebrauchen, um Theil für Theil zu dem Perihel zu gelangen <sup>134)</sup>; diese kann leicht Hunderte oder Tausende von Jahren erreichen. Wenn das Bündel von Bahnen, in denen der Strom sich bewegt, von der Erde erreicht wird, so wird diese einen Meteorschauer zu einer bestimmten Epoche des Jahres erhalten und dies wird so viele Jahre fort dauern, als der Strom Zeit braucht, um ganz und gar zum Perihel zu gelangen. Nach Beendigung des Durchgangs durch das Perihel wird der Strom nach einer ausserordentlich langen Zeit zurückkehren können, oder auch nicht mehr zurückkommen. Dies würde vielleicht das Schauspiel sein, welches eine Nebelmasse darbieten würde, die der Sonne während ihrer Bewegung durch die Himmelsräume begegnete <sup>135)</sup>.

<sup>132)</sup> Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. Vol. XXV. p. 243 und Vol. XXVI. pp. 1. 204.

<sup>133)</sup> Einen solchen Beweis findet man in meinem dritten Briefe an P. Secchi und in den „Note e Riflessioni etc.“ §§. 99—105.

<sup>134)</sup> Eine Anhäufung, deren jährliche Parallaxe ursprünglich 5" betrüge, und deren scheinbarer Durchmesser gleich dem der Sonne wäre, würde einen Radius haben, welcher mehr als sechsmal so gross als der der Neptunbahn wäre. Eine solche Anhäufung würde, indem sie auf die Sonne in einer sehr langgestreckten Ellipse fällt, deren Periheldistanz 0,5 und deren Apheldistanz 40000 beträgt, die Sonne unter der Gestalt eines sehr langen Meteorstromes erreichen, welcher nicht weniger als 20000 Jahre gebrauchen würde, um Theil für Theil zum Perihel zu gelangen.

<sup>135)</sup> Diese Art der Erzeugung der Meteorströme aus der Auflösung riesiger im Raume angenommener Anhäufungen von nebelartiger Materie wurde von mir in meinen ersten Abhandlungen über diesen Gegenstand



Es könnte sich auch ereignen, dass eine solche Wolke von Materie so gross wäre, dass sie während ihres Falles zur Sonne die Erdbahn ganz oder zum Theil einhüllte. Alsdann würde man nicht mehr einen Strom, im wahren Sinne des Wortes, haben; die aus dieser Wolke herkommenden Meteore würden mit der Erde einen Theil des Jahres, oder auch das ganze Jahr hindurch zusammentreffen. Die Richtung des Radiationspunktes würde sich von Tag zu Tag ändern, und dieser Punkt würde am Himmel eine Curve beschreiben, deren Berechnungsweise Prof. Hoek gegeben hat<sup>136</sup>). Auf diese Art könnte man vielleicht die lange Dauer einer und derselben Radiation durch Wochen und durch Monate hindurch erklären, wenn sich die entsprechende Fortbewegung des Radianten bestätigte. Bis jetzt aber haben die Beobachtungen noch keine derartige Combination der Erscheinungen in genügend bestimmter Weise dargeboten. —

102. In Bezug auf die Entstehung der Meteorströme ist aber noch eine andere Frage zu erwägen, nämlich die, ob die Beschaffenheit der Kometen wirklich der Art ist, um diese Erzeugung möglich zu machen. Dass die Kometenmaterie die Auflösung leicht gestatten kann, ist gewiss, wenn man die so sehr geringe Dichtigkeit berücksichtigt, welche diese Materie wenigstens in den äussersten um den Kern befindlichen Schichten besitzen muss; vor Allem möge man sich hier an die in den §§. 96 und 97 entwickelten numerischen Resultate erinnern. Die Trennung der Kometenmaterie in mehrere Theile ist eine nach den Beobachtungen vieler Kometen constatirte Thatsache. Sehr bekannt sind die Beispiele der Doppelkometen von Biela und von Liais, deren Theilung, wie Prof. Kirkwood richtig meint, eine einfache Wirkung der auflösenden Kraft der Sonne zu sein scheint. Es können hier noch als

---

entwickelt und ist vollkommen möglich. Nach der Entdeckung der gleichzeitigen Existenz von Kometen und von Meteorströmen in derselben Bahn giebt es aber keinen Grund mehr, sie als eine wirkliche Thatsache anzunehmen, und Prof. Weiss hat vollkommen Recht, wenn er diese Hypothese verwirft. (Beiträge zur Kenntniss der Sternschnuppen p. 1.). —

Einige Schriftsteller haben gesagt, dass ich mir die Meteorströme als durch die Auflösung der Nebelflecke erzeugt vorstellte, andere haben hinzugefügt, dass ich den Nebelflecken eine viel geringere Entfernung, als den Fixsternen, zuschriebe und sie als Körper betrachtete, welche zu der Sonne hin fielen und sehr nahe bei ihr angelangt, in Meteorströme umgewandelt würden. (Siehe Pfaff, Die neuesten Forschungen und Theorien auf dem Gebiete der Schöpfungsgeschichte. Frankfurt, 1868. p. 25—27). Ich versichere auf die bestimmteste Weise, dass diese Ansichten niemals die meinigen gewesen sind. —

<sup>136</sup>) On the Phenomena which a very extended Swarm of Meteors coming from space presents after its entry into the Solar System. Monthly Notices of the R. Astr. Society March 13, 1868.



Beispiele angeführt werden der von Otto Struve und von Winnecke bei dem Donati'schen Kometen beobachtete secundäre Kern, sowie der Komet 1853 I, dessen Kern nach den Beobachtungen von P. Secchi ein vielfacher war<sup>137</sup>). Ueberdies ist eine Tendenz der die dichteren Theile des Kometen bildenden Materie, sich in granulöser Structur anzuordnen, durch die Beobachtungen dieser Gestirne an dem Ringmikrometer im dunklen Gesichtsfelde häufig angedeutet worden; man sieht das Licht des dichteren Theiles der Kometen hinter dem Ringe verschwinden, nicht plötzlich auf einmal, sondern sprungweise in mehreren Stufen. Dieser Umstand, welcher die Beobachter häufig in Verzweiflung bringt, wenn sie die Contacte desjenigen Punktes abschätzen wollen, den sie für das Centrum des Kometen halten, zeigt, dass die Hauptmasse des Lichtes eines Kometen nicht um einen einzigen Punkt, sondern um mehrere Punkte, concentrirt ist. Dies fand z. B. Dr. Engelmann in dem Leipziger Refractor an dem II. Kometen von 1868, am 18. Juni desselben Jahres. Einen analogen Anblick zeigte mir der Komet 1862 III, die fruchtbare Mutter der Perseiden, am 25. August 1862 gegen 10 Uhr Abends. Der glänzendste Theil des Kopfes, der für das unbewaffnete Auge den scheinbaren Kern bildete, glich, durch den 5füssigen Plössl der Sternwarte zu Mailand mit einer 200fachen Vergrösserung beobachtet, genau denjenigen Nebelflecken, bei welchen sich ein Anfang der Auflösbarkeit zu zeigen beginnt: auf einem hellen Grunde tauchten hie und da unsicher schimmernd mehrere Lichtpunkte auf, von denen jeder einzelne nur für einen Augenblick sichtbar war. Von diesem körnerartigen Zustande der Kometen habe ich andere Beispiele gefunden, die ich aber nicht genau anführen kann.

Die wichtigsten Beobachtungen aber, zum unbestreitbaren Beweise der Möglichkeit der Theilung eines Kometen in kleine Theilchen und seiner völligen Auflösung sind die Beobachtungen an dem zweiten Kometen von 1618 und an dem von 1652. Ungeachtet der Unvollkommenheit der angewendeten Fernröhre und der geringen Erfahrung, welche die Astronomen der damaligen Zeit in der Zeichnung dieser Himmelskörper besaßen, waren die von ihnen berichteten Thatsachen so evident, dass sie noch heute die passendste Erläuterung für diesen Gegenstand abgeben. —

103. Neun Jahre nach der Erfindung des Fernrohrs wurde dasselbe zum ersten Male auf die Untersuchung der Structur der Kometen angewendet; dies geschah bei der Erscheinung des zweiten Kometen von 1618. Sein Kern, welcher

---

<sup>137</sup>) Bulletino meteorologico. Tomo V. p. 129.



zuerst einfach erschien, löste sich sehr bald in einen wirklichen Schwarm von kleineren Kernen auf. Obgleich die Beobachtungen nur mit unvollkommenen Fernröhren, wie man sie damals nur haben konnte, gemacht wurden, sind die Berichte der verschiedenen Beobachter so übereinstimmend, dass hierin kein Zweifel übrig bleiben kann. Ich will die hauptsächlichsten wortgetreu nach dem Texte anführen, damit der Leser sein eigenes Urtheil sich bilden kann.

Beobachtungen des P. Cysatus<sup>138)</sup>. „Die prima et quarta decembris cometam diligenti et diuturna inspectione per tubum opticum, eumque geminum, quorum unus sex fere, alter novem vel decem pedes longus, consideravimus. . . . Nucleus luminosi capitis cometae apparebat rotunda figura, luce continua ac stipata, etsi minime clara seu fulgida, diametro tali, ut summum occupare potuerit  $\frac{2}{3}$  diametri Jovialis. Iste porro luminosi capitis cometae nucleus densi, sed plumbei et obscuri luminis circumfusum undique habuit rarius quoddam et pallidius lumen, duplo fere latiore limbo, quam fuerit ipsa nuclei diameter. . . . Et licet nebulosam illam coronam, quae nucleum ambiebat, etiam tertium quoddam jubar longe dilutioris et obscurioris luminis circumdederit; quia tamen illud lumen lumine cometae densius non fuit, immo ipse cometa profluxus videbatur, idcirco capiti cometae accensere nolimus. Constabat ergo caput cometae meditullio, seu nucleo quodam denso, et coronante limbo latiore quidem, sed multo rarioris luminis; eratque diameter nuclei 2' circiter. Latitudo limbi 3'. Tota capitis diameter 8' circiter<sup>139)</sup>“.

8. decembris 1618. „Non tantum totum cometae caput (nempe nucleus una cum circumfuso jubare), sed solitarius quoque nucleus etiam duplo Arcturo major in diametro 3' aut 4' videbatur (cum primo die longe esset minor) neque amplius rotundus, sed diffissus internos aut quaternos irregularis figurae globulos inter se cohaerentes, quales solent apparere Saturni comites<sup>140)</sup>“ S. Tafel IV.

17. decembris. „Pro nucleo illo nuper compacto jam aliquot minutissimae stellulae comparuerunt obtusissimo lumine circum interque fuso, tamquam ex nebula seu alba luce promicantes; idque multo clarius et distinctius sequenti die 18. visum est.“

<sup>138)</sup> Aus der Hevel'schen Cometographie p. 341. 342 entnommen. Die Daten sind hier, wie bei allen folgenden Berichten, nach dem neuen Styl.

<sup>139)</sup> Der Leser möge hierbei erwägen, dass damals das Mikrometer noch nicht erfunden war; daher rührt der Widerspruch dieser Schätzungen mit der vorhergehenden Schätzung des Durchmessers, verglichen mit dem des Jupiters. Man sehe auch die Zeichnungen auf Tafel IV., welche der Cometographie von Hevel getreu entnommen sind.

<sup>140)</sup> Diese sind die Henkel des Ringes.



20. decembris. „Manifestius meditullium seu nucleus, qui primo die quasi solida ac rotunda lux apparuerat, in stellulas multas dissolutus apparuit, ita ut jam esset congeries complurium minimarum stellarum, quarum tres prae caeteris constantius ac distinctius videbantur, earumque maxima instar stellae 5<sup>ae</sup> fere magnitudinis: extra illam praterea congeriem stellarum etiam in affuso jubare stellula eluxit, quae primum putabatur pertinere ad caeteram congeriem, sed fuisse unam e fixis apparuit post sesquihoram; erat autem haec quoque stellula longe minor minimo Jovis comite. Fuit denique hujus nuclei seu jam stellarum globi diameter 5' aut 6', notabiliter certe major quam die 1<sup>a</sup> decembris.“

24. decembris. „Et nucleus seu globus ac congeries stellarum, et ipsum circumfusum jubar longe majus quam antehac spatium occupabant, sed lumine multo tenuiore et rariore. Ex tribus nuper distinctis stellulis nunc una tantum constanter visa est; caeterae quidem plurimae, sed distincte numerari haud poterant; quia etsi certo aut crebro scintillare videbantur, tamen non continue ac constanter simul omnes, sed interruptim aliae post alias quasi per saltus in oculos incurrebant, eo plane modo, quo coelo valde sereno minimae stellae fixae etiam nudo oculo spectari solent. Erant denique singulae hodie inter se longe dissipatiores quam prioribus diebus, ita ut nuclei diameter esset minima 6', latitudo circumfusi limbi 5', tota capitis diameter 16' circiter. Atque hoc die ultimo per tubum observare licuit. Quae dicta sunt repraesentantur, ut possunt, subjectis schematibus.“ (Tafel IV.)

Beobachtungen von Wendelin<sup>141)</sup>. „Caput ipsum cometae, cum illud primum telescopio exploravi die 29<sup>a</sup> novembris, deprehendi veluti ingentis foci lucentes tres aut quatuor prunas igne valido accensas. Vidi, inquam, cometam quasi triplicem globum; et quidem istas tres prunas adverti in coram mei nonnihil mutare situm, quasi esset, qui focum scrutaretur: ac sequentibus diebus plures mihi prunae conspectae sunt, quasi carbonem nostri, qui dissiliunt in plures partes jam accensi.“

Der Komet 1618 II., dessen sonderbare Erscheinungen in dem Vorhergehenden beschrieben sind, ging durch sein Perihel am 8. November 1618; am 6. December hatte seine wahre Anomalie bereits 90° erreicht und seine Entfernung von der Sonne betrug das Doppelte der Periheldistanz. Von Anfang des Decembers bis zum Ende dieses Monats wuchs seine Entfernung von der Sonne ungefähr um das Doppelte, und trotzdem wuchs der Durchmesser in Bogen dieses zusammengesetzten Systems, das Cysatus Kern nannte, ebenfalls beträcht-

<sup>141)</sup> Hevelii Cometographia p. 878.



lich. Man erkennt daher, dass die Dimensionen dieses Kernes oder vielmehr dieses Systemes von Kernen bei der Entfernung von der Sonne fortdauernd rasch zunahmen. Nimmt man die Angaben des P. Cysatus über die Dimensionen als richtig an, so erhält man folgende Zusammenstellung <sup>142)</sup>:

| Tag.            | Entfernung    |                | Scheinbarer             | Wahrer                    |
|-----------------|---------------|----------------|-------------------------|---------------------------|
|                 | von der Erde, | von der Sonne, | Durchmesser des Kernes. | Durchmesser. (d.d.Erde=1) |
| 1618 December 1 | 0,37          | 0,71           | 2'                      | 2,4                       |
| „ 8             | 0,37          | 0,86           | 4                       | 4,9                       |
| „ 24            | 0,43          | 1,14           | 6                       | 8,6                       |

Die Kraft, welche diese Ausdehnung veranlasste, scheint also offenbar nicht die Strahlung der Sonne gewesen zu sein, sondern vielmehr die beginnende Zerstreuung der Masse, die durch die oben beschriebenen Ursachen hervorgebracht wurde. Ich will gleichwohl nicht zu sehr auf dieser Conjectur bestehen, welche noch weiterer Bestätigungen bedarf. —

104. Der bisher betrachtete Komet, obgleich von eigenthümlicher Structur, war mit derjenigen Materie, aus welcher sich die Schweife entwickeln, reichlich versehen, wie man aus den Nachrichten, die uns über diesen Kometen überliefert sind, sehen kann. Nicht so der höchst sonderbare Komet von 1652 (wenn man ihn einen Kometen nennen kann), welcher das schönste Beispiel liefert, das wir zu Gunsten unserer Theorie citiren können. Er gewährt den Anblick eines unregelmässigen und heterogenen Haufens von fast sphärischer Form und von colossalem Volumen, versehen mit einem Schweife, welcher zu seiner Dimension wirklich ohne Proportion war; man sehe unsere Figur auf Tafel IV., welche eine Copie der von Hevel nach seiner Beobachtung durch das Fernrohr gemachten Zeichnung ist. Der Bericht dieses Astronomen ist der genaueste und vollständigste, welchen wir über diesen Kometen besitzen, obgleich seine Zuverlässigkeit von berühmten Autoritäten in Zweifel gezogen ist. Ich will die Beschreibung von Hevel und die der hauptsächlichsten gleichzeitigen Beobachter anführen und dem Leser nach eigener Kenntnissnahme die Beurtheilung überlassen, ob die erwähnten Zweifel einen Grund haben, oder nicht. Man wird hieraus ersehen können, wie gefährlich es ist, eine beobachtete Thatsache zu läugnen oder in Zweifel zu ziehen, blos weil sie nicht mit angenommenen Theorien in Einklang steht.

Der Komet von 1652 wurde zuerst in Amerika von P. Johann Koenigk, von der Gesellschaft Jesu, am 15. December

<sup>142)</sup> Die zur Berechnung angewendeten Elemente sind die von Bessel im Berliner Jahrbuch v. 1808.



dieses Jahres gesehen. Man muss gestehen, dass sein Anblick an diesem Tage sehr aussergewöhnlich war, da der erwähnte Pater einige Zeit darauf an P. Kircher schrieb: „quod anno 1652 die nimirum 15. Dec. geminus Cometa apparuerit decussatis caudis, et tertio ex altero illorum promicante“<sup>143</sup>). Der Komet war damals in Europa unsichtbar; wegen des Fehlens gleichzeitiger Zeugnisse ist es unmöglich, sich eine klare Vorstellung von der Bedeutung der erwähnten Beschreibung zu machen. Am 18. December wurde der Komet von David Christiani in Giessen gesehen, welcher ihn folgendermassen beschrieb<sup>144</sup>): „Animadverti novum quoddam phaenomenon, et stellam adscititiam obscuro, raro, et nebuloso lumine praeditam, quae tota sua forma gyro illi sive congeriei et conglomerationi stellarum, quam Plejades vocant, simillima erat, nisi quod ab initio circa hunc diem (18. dec.) et aliquot sequentes hoc ipso gyro aliquanto major videbatur, adeo ut ipsas extremitates siquis accuratius intueretur, apparenti magnitudine orbiculum quemdam spithamam in diametro continentem quam proxime adaequaret, licet ob luminis obtusi tenebricosum adspectum nequaquam adeo perspicue ut planetae vel fixa sidera mundi coeava oculis sese ingereret“.

Hevel sah den Kometen zum ersten Male am 20. December 1652 um 6 Uhr Abends. „Caput erat rotundum rarae magnitudinis, vix aliquanto Luna plena minus ostendens: caudam, sive barbam insignem prolixamque 6 vel 7 graduum porrigens. Lumen autem capitis pallidum, ac ex parte obtusum, minusque splendidum, Lunae adinstar nubecula tenuissima obductae videbatur: simili fere, nisi debiliori adhuc et rariori lumine, in tenuissimum terminante mucronem, cauda gaudebat<sup>145</sup>)“.

23. decembris. „Caudam oculum circiter boreum Tauri versus extendebat, eodem modo quo ante pyramidatam . . . . tam quoad magnitudinem corporis, quam longitudinem barbae phaenomenon fuit valde deminutum<sup>146</sup>). . . . . Hora 11<sup>1</sup>/<sub>4</sub> diameter cometae quadrante azimuthali magno diversis vicibus observata fuit 26 vel 25 minutorum. Color capitis erat pallidus et livida albedine obsitus<sup>147</sup>)“.

26. decembris. „Corpus cometae aliquanto minus apparuit attamen diameter ejus beneficio magni quadrantis adhuc extitit 24 minutorum; id quod sibi vix quisquam persuadebit<sup>148</sup>)“.

27. decembris. „Longitudo caudae circa 4<sup>o</sup> aestimata est

<sup>143</sup>) Hevelii Cometographia p. 352.

<sup>144</sup>) Ibid. p. 889.

<sup>145</sup>) Ibid. p. 1.

<sup>146</sup>) Ibid. p. 3.

<sup>147</sup>) Ibid. p. 7.

<sup>148</sup>) Ibid. p. 8.



Praeterea tubo optico quodam longissimo (qui inter alia maxime dissita etiam Saturni comitem detegit <sup>149</sup>)), corpus istud cometicum sum speculatus. Totum autem discum isto telescopio (quod tamen 20 et amplius ostendit minuta) comprehendere nequivi; lumen admodum obtusum et imbecille spargebat; ac in ipso disco sinistram et caudam versus quatuor vel quinque corpuscula quaedam, sive nucleos, reliquo corpore aliquanto densiores ostendebat, quorum duo reliquis tribus paullo majores videbantur; quamquam adhuc diversi alii minutissimi hinc inde sparsim in disco sese offerebant, quae tamen visum pene illudebant: atque hinc eos recte distinguere et delineare haud dabatur. Dextram vero versus lumen aliquod flexuosum et anfractuosum, clarius multo quam reliqua pars totius corporis, similiter ac si esset congeries multorum minutissimorum corpusculorum, animadvertimus. Lumen autem istud non erat adeo intensum et vividum, aequae ac reliquarum stellarum fixarum, sed paullo obtusius <sup>150</sup>).“

1653. 2. Januarii. „Debile lumen caudam non conspeximus. Diameter corporis aestimata fuit 7' vel 8'; ratione debilissimi luminis instar stellae cujusdam nebulosae apparuit <sup>151</sup>).“

7. Jan. „Corpus admodum exile et attenuatum, lumen ejus valde pallidum. Diameter 5' circiter <sup>152</sup>).“

10. Jan. „Nudis oculis se prorsus subducebat: telescopio vero longiori armatis se nonnihil offerebat. Deprehendimus itaque ratione capitis et luminis valde attenuatum . . . . Corpusculum autem erat rarissimum, adeo ut nulli praeterea nuclei in eo apparerent; siquidem materia, nonnisi instar umbrae dispersa, ac dilutissima interspersis quibusdam fissuris et meatibus videbatur: quae tamen omnia difficulter aequae accurate discernebantur <sup>153</sup>).“ Hevel konnte den Kometen nach dem 10. Januar nicht mehr beobachten. —

Beobachtung von Cornelio Malvasia zu Bologna <sup>154</sup>). „Hora prima noctis die 21<sup>a</sup> decembris repertus est cometa circa stellas clypei Orionis, nebulosus et magnitudine insigni, aequalis ejus diameter fere Lunae semi diametro. Ex telescopio non apparebat totum corpus ejusdem rationis. In medio namque candicantem discum veluti inter nubes Luna spectatur, prae se ferebat, et tantae magnitudinis, quanta ipsa Luna oculo nudo apparet, et aliquantum etiam majoris.“

<sup>149</sup>) Diese Bemerkung ist wahrscheinlich von Hevel einige Jahre später hinzugefügt worden; der Huyghens'sche Satellit des Saturn wurde erst im Jahre 1655 entdeckt.

<sup>150</sup>) Hevelii Cometographia p. 326.

<sup>151</sup>) Ibid. p. 327.

<sup>152</sup>) Ibid. ib.

<sup>153</sup>) Ibid. ib.

<sup>154</sup>) Ibid. p. 325.



Beobachtung von Wendelin. „Die 21. dec. hora 8 vespertina ad Orionis clypeum insolitum quoddam lumen quod majus quidem esset, quam aliqua stellarum nebulosarum, luceret vero malignius colore pallido ac buxuo triste et obscurum . . . . Magnitudo erat quae discum Lunae vel aequaret, vel excederet<sup>155)</sup>. . . . Dum expedio telescopium, atque aliquamdiu exploro corpus totum istius sideris, video in eo stellulas plusculas minutissimas, atque in his unam caeteris majorem, et oblongam, aliarum mediam; diceres, focum aliquem, consumtis lignis, favillas suas reliquas, permixtasque in his prunas et scintillas ostentantem. Breviter, eadem visa mihi facies, quae fuit cometae illius superioris anno 1618 in manu Bootis conspecti<sup>156)</sup>.“

Ich unterlasse es, andere Zeugnisse anzuführen; sie bestätigen übereinstimmend, dass der Kopf des Kometen Anfangs so gross war, wie der Mond, dass sein Licht sehr bleich und dass seine Scheibe mit helleren Flecken übersät war. Die Beschreibungen des Kometen, welche ich oben wörtlich citirt habe, werden zugleich mit der Abbildung auf Tafel IV. (welche sicherlich eine geringe Geschicklichkeit in dieser Gattung der Zeichenkunst offenbart, aber mit den schriftlichen Berichten vollkommen übereinstimmt) hoffentlich genügen, auch die am meisten Misstrauischen zu überzeugen, dass der Komet von 1652 einen, von dem gewöhnlichen Anblick sehr weit abweichenden, Eindruck machte, und dass er hauptsächlich aus einer kugelförmigen Masse von Materie bestand, welche in ihrem Innern unregelmässig verdichtet war und nebst einer gestaltlosen Agglomeration, die man als den Hauptkern betrachten kann, eine gewisse Anzahl von kleineren Kernen enthielt, ferner eine sehr grosse Zahl von anderen in den Fernröhren der damaligen Zeit nicht genauer erkennbaren Lichtpunkten. Ueberdies scheint die Hauptagglomeration ebenfalls aus einem Haufen von kleineren Kernen bestanden zu haben (Beobachtung von Hevel vom 27. December). Der Schweif hingegen (wenn man ihn so nennen kann) war so schwach, dass einige Autoren ihn gar nicht erwähnen und alle, oder fast alle, erklären, dass sie sich Anfangs nicht dazu bequemen konnten, diese sonderbare Erscheinung als einen Kometen zu betrachten, und nur die Natur seiner scheinbaren Bewegung konnte sie dazu vermögen, sie in diese Klasse einzureihen. —

105. Wenn wir von der Auflösung der Kometen sprechen, so muss man dies in dem von uns bisher angegebenen Sinne verstehen: es handelt sich immer um die Zer-

<sup>155)</sup> Ibid. p. 324.

<sup>156)</sup> Ibid. p. 328.



streuung der Theile einer Anhäufung von Materie unter dem alleinigen Einflusse der Anziehung, sei es, dass diese von der Sonne, oder von einem störenden Planeten herrührt. Es ist gezeigt worden, dass diese Ursache völlig genügt, alle die beobachteten Erscheinungen hervorzubringen: jedes Mal, wenn diese Ursache in Wirksamkeit tritt, kann ihre Wirkung keine andere sein, als die Bildung eines Stromes, welcher sich auf der, von dem primitiven Körper um die Sonne beschriebenen, Bahn ausdehnt. Wenn man also in irgend einem dieser Körper, welche aus den Tiefen des Weltenraumes zu uns gelangen, irgend eine andere Art der Zerstreuung sich offenbaren sieht, bei welcher seine Theile sich nicht längs der Bahn ausbreiten, sondern in anderen Richtungen, so wird man daraus schliessen müssen, dass diese Zerstreuung von einer anderen Ursache herrührt, als von derjenigen, welche wir bisher betrachtet haben. Dies ist gerade der Fall bei den mit einem Schweife versehenen Kometen, welche bei jedem Periheldurchgange an Materie zu verlieren scheinen: dieser Verlust erfolgt aber nicht längs der Bahn, sondern vielmehr in der Richtung des Radiusvector, welcher zu der Zeit, wann sich die Schweife am stärksten zu entwickeln pflegen, gewöhnlich nur wenig von der zur Bahn senkrechten Richtung abweicht.

Nichtsdestoweniger haben einige Schriftsteller geglaubt (und diese Ansicht ist sehr mit Unrecht auch dem Verfasser dieses Buches zugeschrieben worden), dass die Auflösung der Kometen in Meteorströme und die Bildung der Schweife identische oder wenigstens mit einander zusammenhängende Erscheinungen seien, und dass man in dem Schweife den Anfang der Bildung eines Meteorstromes erkennen müsse. Diese Ansicht scheint aber, wenigstens mir, sehr zweifelhaft.

Betrachtet man das Gebilde der Kometenschweife als eine materielle und nicht als eine rein optische Erscheinung, so kann man unmöglich annehmen, dass die Materie, aus welcher diese so sehr langen Anhängsel gebildet werden, wenigstens in den meisten Fällen, nicht im Raume zerstreut werden sollte. Ist jeder Zusammenhang des Schweifes mit dem Kerne des Kometen hinweggenommen, so ordnet sich diese Materie in Form einer breiten Schicht an, welche in der Ebene der von dem Kometen durchlaufenen Bahn sich befindet. Es bildet sich also hierbei kein dünner Strom, sondern eine sich fortbewegende Schicht von Materie, deren einzelne Theilchen Bahnen von verschiedener Beschaffenheit, aber alle in derselben Ebene gelegen, beschreiben werden. Die Erscheinung der Radiation setzt nun offenbar einen fadenförmigen Strom voraus, bei welchem alle Bahnen als unter sich in je-



dem gegebenen Punkte parallel angesehen werden können. Ein Strom in Gestalt einer Schicht, wie die von den Kometenschweifen erzeugte sein dürfte, kann nicht von einem einzigen Punkte der scheinbaren Radiation aus divergiren, sondern vielmehr von einer Reihe unendlich vieler Punkte, welche an dem Himmelsgewölbe eine continuirliche Curve bilden. Daher dürfte man auch nur unter ganz besonderen Umständen und für besondere Punkte dieses Stromes es sich vorstellen können, dass alle Bahnen der ihn zusammensetzenden Theilchen unter sich parallel und mit gleicher Geschwindigkeit beschrieben sind.

Auf diesen Fall scheint man daher nicht die berühmte Newton'sche Regel anwenden zu können, welche uns vorschreibt, dass man den Wirkungen der Natur von derselben Gattung auch dieselben Ursachen zuschreiben müsse<sup>157</sup>). Wenn es möglich wäre, die Bildung der Kometenschweife allein vermittelst der universellen Anziehung, verbunden mit einer dem Kerne innewohnenden Expansions- oder Projectionskraft, zu erklären, so würde der Versuch sehr nutzbringend sein, die so eben erwähnten Nichtübereinstimmungen und Unterschiede zwischen den fadenförmigen Strömen, welche aus der Attractionstheorie und aus der Beobachtung resultiren, und den schichtenförmigen Strömen, welche von den Kometen durch die Emission der Schweife nothwendigerweise veranlasst werden, zu beseitigen. Wenn aber in der physischen Theorie der Kometen irgend etwas als feststehend betrachtet werden kann, so ist es, dass die Schweifmaterie ihre Bewegung Kräften verdankt, deren Beschaffenheit nicht sehr bekannt ist, welche ganz oder zum Theil die Einwirkung der Gravitation zerstören, und sogar bisweilen Wirkungen hervorbringen, denen entgegengesetzt, welche aus der Gravitation hervorgehen würden. Es gereicht mir zur höchsten Verwunderung, dass dieser Umstand noch nicht Allen klar geworden ist. Man muss sich ohne Zweifel wohl hüten, neue Ursachen und neue Klassen von Erscheinungen einzuführen, wenn es nicht nöthig ist. Wenn aber mehrere Thatsachen übereinstimmend zu einer und derselben Hypothese führen, und wenn diese das einfachste und natürlichste Mittel darbietet, unüberwindliche Hindernisse hinwegzuräumen, so will der gesunde Menschenverstand, dass man sie nicht deshalb allein zurückweist, weil sie etwas Neues in der Ordnung der Natur enthält.

Das Phänomen der Lichtausströmungen, welche die Kerne vieler grosser Kometen auszusenden pflegen, ist sehr bekannt.

<sup>157</sup>) „Effectuum naturalium eiusdem generis eaedam assignandae sunt causae, quatenus fieri potest.“ Principia lib. III. Regula philosophandi II.



Man sieht diese Ausströmungen von dem der Sonne zugewendeten Theile des Kernes aus aufschliessen, und die fortreibende Schleuderkraft scheint nicht klein zu sein. Die Materie, aus der sie bestehen, pflegt sich rasch auszu dehnen, indem sie eine Art von Fächer oder Lichtsector bildet. Diese Sektoren haben unveränderlich die Eigenschaft, sich nach rückwärts umzukrümmen, indem sie die Materie ihrer Ränder nach dem Theile des Kometen hin entweichen lässt, wo sich der Schweif befindet. Diese Umstülpung kann von allen Theilen des Sectors aus vor sich gehen, wenn seine Axe der Symmetrie nach der Sonne zu gerichtet ist; es ereignet sich aber auch öfters, dass, indem sich die Axe kraft gewisser oscillatorischer Bewegungen neigt, die Umkehrung nach einer Seite hin massenhafter ist; es kann sogar dahin kommen, dass der ganze Sector sich nach einer Seite hin krümmt, indem er zu einem parabolischen Strahle Veranlassung giebt. Von solchen Phänomenen haben wir mehr oder weniger evidente Beispiele bei den Kometen, welche in den Jahren 1665, 1744, 1819, 1835, 1858, 1861, 1862 erschienen sind. Diese Zurückkrümmung der Lichtausströmungen bewirkt, dass die von dem Kerne nach der Sonne hin ausgeschleuderte Materie schliesslich mit der des Schweifes sich vermischt; auch scheint in gewissen Fällen der Glanz und die Länge dieses Anhängsels hauptsächlich von der Materie der Lichtausströmungen herzurühren.

Die verschiedenen Versuche, die man zur Erklärung dieser sonderbaren Phänomene mittelst einfacher Combinationen der anfänglichen Wurfbewegung der Ausströmung mit der parabolischen Bewegung des Kernes gesucht hat, sind bis jetzt fruchtlos gewesen. Roche ist dadurch, dass er die Gestalt der Kometen als einfaches Resultat des Gleichgewichtes einer Flüssigkeit unter der anziehenden Einwirkung des Kernes betrachtete, und dass er eine repulsive Kraft der Sonne einführte, dahin gelangt, den Grund zu finden, warum ein in gewisser Art den Lichtausströmungen ähnliches Phänomen entsteht <sup>158)</sup>. So schön und sinnreich man aber auch die Theorie von Roche nennen kann, so wird doch keiner von denen, welche die Kometen von 1858, 1861 und 1862 haben beobachten können, anzunehmen im Stande sein, dass sie auch nur entfernt die Phänomene erklärt, welche wirklich in Natur stattgefunden haben. Diese Lichtausströmungen sind zuweilen doppelt, wie bei den Kometen von 1744, 1835 und 1858 <sup>159)</sup>; der Donatische Komet von 1858 zeigte sogar deren bis vier

<sup>158)</sup> H. Résal, Traité élémentaire de Mécanique céleste p. 286.

<sup>159)</sup> Siehe die Abbildungen von Heinsius, Struve und Bond.



und noch mehr zugleich, wie man aus den Abbildungen von Bond ansehen kann. Hier haben wir offenbar kein Fluidum im Gleichgewicht, sondern eine mit Gewalt aus gewissen Gegenden der Oberfläche des Kernes, welche zu dieser Thätigkeit am meisten geeignet sind, herausgeschleuderte Materie; wenn diese Materie sich nach rückwärts biegt, den Schweif erreicht und diesen sogar zum grössten Theile bildet, so geschieht dies einfach deshalb, weil eine unbekannte Kraft ihn in der der Sonne entgegengesetzten Richtung fortstösst. Eine solche Kraft, welche schon einem Keppler und Newton nothwendig erschien, um die Bildung der Schweife der Kometen zu erklären, hat ebenfalls, aber in einer sehr viel künstlicheren Weise, eintreten müssen, um nach der erwähnten Theorie von Roche die Bildung der Lichtausströmungen zu erklären. —

106. Wenn wir die verwickelten und vielfältigen Einwirkungen, die sich um den Kern herum zu äussern pflegen, verlassen und die Entfaltung des Schweifes im Raume verfolgen, so finden wir uns hier einer Gesammtheit von sehr viel einfacheren und bis zu einem gewissen Punkte der Rechnung zugänglichen Phänomenen gegenüber. Diese langen Ströme von leuchtender Materie werden in ihrer Bahn durch die Geschwindigkeit regulirt, mit welcher sie sich vom Kerne lösen, im Vereine mit der von der Sonne, und vielleicht auch zum Theil von dem Kerne, auf ihre freigewordene Materie ausgeübten Kraft. Die Thatsache, dass die meisten Kometenschweife sich in der Ebene der von dem Kerne beschriebenen Bahn krümmen, ist uns ein Zeugniss dafür, dass, im Allgemeinen, bei der Bestimmung der Gestalt und der Krümmung der Schweife keine anderen, als die obengenannten Kräfte interveniren. Dazu kommt noch der Umstand, dass die Dünnhcit des Schweifes öfters gestattet, ihn als ein lineares System von Punkten anzusehen. Alles dies ist der Untersuchung der Beziehungen zwischen der beobachteten Gestalt der Schweife und der diese Gestalt bestimmenden Kräfte äusserst günstig. Das Problem wird vergleichungsweise sehr einfach. Ein Punkt der Schweifmaterie befindet sich in einem bestimmten Augenblicke am Ende des leuchtenden Anhangs in einer bekannten Position des Raumes. Dieser Punkt ist dahin gelangt, indem er von dem Kerne, in dessen Nähe er sich befand, ausging. Ist es möglich, einfach durch die Gravitation diese Fortbewegung zu erklären und den Schweif ohne andere Annahmen zu construiren?

Das Problem ist unter dieser Form von dem grossen Bessel aufgestellt und gelöst worden, und sicherlich wird Niemand zweifeln, dass dies der richtige und directe Weg zur Lösung desselben sei. Hier hat man, um genau zu sprechen,



durchaus keine Hypothese mehr. Wenn also Bessel, indem er auf diese Weise den Halley'schen Kometen der Berechnung unterzog<sup>160)</sup>, zu dem Ausspruche geführt wurde, „dass das Vorhandensein der Schweife der Kometen im Allgemeinen über die Wirkung einer Kraft, welche von der gewöhnlichen anziehenden Kraft der Sonne bedeutend verschieden ist, keinen Zweifel übrig lässt<sup>161)</sup>“, und ferner an einem andern Orte, „dass man an der wirklichen, oder scheinbaren abstossenden Kraft der Sonne in Beziehung auf die Kometenschweife nicht zweifeln kann<sup>162)</sup>“, und an einer dritten Stelle, „dass die gewöhnliche Kraft der Sonne mit der Erscheinung langgestreckter, nicht sehr beträchtlich gekrümmter und der Sonne näherungsweise entgegengesetzter Kometenschweife unvereinbar ist<sup>163)</sup>“, so hat er damit keine Hypothese ausgedrückt, sondern vielmehr das mathematische Resultat der an jenen Schweifen beobachteten Thatsachen, dessen Werth von denjenigen, welche Schritt für Schritt die Schlussfolgerungen von Bessel geprüft haben, durchaus nicht in Zweifel gezogen werden kann. Diese repulsive Kraft kann, wie der vorsichtige Königsberger Astronom richtig bemerkt, ihren Sitz in der Sonne haben, oder auch nicht, obwohl sie in der diesem grossen leuchtenden Körper entgegengesetzten Richtung wirkt; in ähnlicher Weise kann es stattfinden, oder auch nicht, dass sie mit dem Quadrate der Entfernung von der Sonne abnimmt, ohne dass sie deshalb weniger constatirt sei.

Die Grösse der fraglichen Kraft lässt sich unmöglich numerisch bestimmen, ohne irgend eine besondere Hypothese über das Gesetz ihres Wirkens aufzustellen. Bessel bestimmte, indem er seine Berechnungen nach der Annahme ausführte, dass die Sonne ihr Centrum sei und dass sie im umgekehrten Verhältnisse der Quadrate abnehme, vermittelst eigener Beobachtungen an dem Halley'schen Kometen die Constante dieser Abstossung und fand, dass, wenn man die Constante der Schwere gleich  $+1$  setzt, die Constante der auf den Schweif des Kometen im Jahre 1835 ausgeübten Abstossung gleich  $-1,812$  war, also fast das Doppelte der allgemeinen Anziehung. Im Jahre 1858 stellte Pape eine ähnliche Untersuchung über den Donati'schen Kometen an und fand, dass für den Hauptschweif die Einwirkung der Sonne als eine elective Attraction angesehen werden müsse, viel eher als wie eine Abstossung; ihre Constante bestimmte er zu  $+0,612$ . Der secundäre und fast als geradlinig von Bond und Win-

<sup>160)</sup> Astronom. Nachrichten No. 300. 301. 302.

<sup>161)</sup> Ibid. §. 15. p. 229.

<sup>162)</sup> Ibid. p. 225.

<sup>163)</sup> Ibid. ib.



necke beobachtete Schweif gab aber eine Abstossung mit der Constante — 5,317, also mehr als dem Fünffachen der Gravitation<sup>164</sup>). Endlich fand der Verfasser dieses Werkes, indem er die Beobachtungen des Kometen von 1680, welche Newton uns in dem Werke der „Principia“<sup>165</sup>) überliefert hat, einer ähnlichen Rechnung unterzog, die Möglichkeit, die Position des äussersten Endes des Schweifes darzustellen, indem er die Einwirkung der Sonne in Bezug auf die Theile des Kometen als vollkommen gleich null annahm, dass also für diese die Constante der Abstossung oder der electiven Attraction gleich null sei.

Obgleich alle diese numerischen Resultate nur für die Hypothese, auf welche sie gegründet sind, gelten, so zeigen sie dennoch deutlich an (und die vielfachen Schweife bestätigen es hinreichend), dass die repulsive oder elective Einwirkung im Sinne des Radiusvectors bei den verschiedenen Kometen verschieden ist, sogar von einem Schweife zum andern bei einem und demselben Kometen variirt. In grösserem oder geringerem Grade aber muss man sie nothwendigerweise bei allen Kometen mit grossen Schweifen annehmen. Hier hat man also an den Schweifen ein Zeugnis für die Existenz dieser Einwirkung, wodurch das bestätigt wird, was schon aus der einfachen Betrachtung der Lichtausströmungen hervorging. Ich bitte den Leser, zu bemerken, dass diese beiden Zeugnisse für die Thatsache der Repulsion von einander unabhängig sind. Ist es also erlaubt, noch daran zu zweifeln? Was mich betrifft, so schliesse ich, dass in den Kometen eine Art von besonderer Materie (welche ich der Kürze halber Kometenmaterie nennen will) existirt, auf welche die Sonne eine geringere Anziehung, als auf die übrige Materie ausübt, eine Anziehung, welche in den meisten Fällen in eine Abstossung sich umwandelt. Ungeachtet der Gegenwart dieser Materie in dem Kometenkörper gehorcht dieser den Kepler'schen Gesetzen; hieraus kann man schliessen, entweder, dass die Masse dieser Materie in Bezug auf den Körper des Kometen verschwindend klein ist, oder dass diese Materie aussergewöhnliche Eigenschaften besitzt. Die Entwicklung der Schweife hängt ausschliesslich von der grösseren oder geringeren Menge dieser Materie und von der Wirksamkeit ab, mit welcher die Sonne auf sie wirkt. Indem sie sich von dem Kometen lostrennt, kommt sie in die Gewalt der eigenen electiven Attraction, und bestimmt die Bildung des Schweifes. Es ist möglich, dass sie in dieser Zeit eine grössere oder geringere

---

<sup>164</sup>) Astron. Nachr. Bd. 49 p. 342—346.

<sup>165</sup>) Editione Glasgow, 1822, Vol. IV. p. 175.



Menge der gewöhnlichen Materie mit sich fortzieht: in diesem Falle würde man eine natürliche Erklärung für die verschiedene Intensität der Abstossung haben, welche die verschiedenen Schweife aufweisen. Befindet sich diese Materie in geringer Grösse vermengt mit einer solchen Anhäufung, wie der Komet von 1652 war, so hat sie den dünnen und wenig bemerkbaren Schweif hervorbringen können, welcher jenen Kometen begleitete. Durch die Einwirkungen dieser Lostrennung von Materie von den mehr oder weniger dichten kometarischen Körpern während ihrer Annäherung an die Sonne lassen sich vielleicht manche sonderbare Phänomene erklären. Da ich aber hier nicht in die so sehr verwickelte Frage über die Natur und die Erscheinungen der Kometen näher eingehen will, so genüge es mir, die Existenz der repulsiven Kraft bei den Lichtausströmungen und den Schweifen gezeigt zu haben, was für uns der Hauptzweck war.

Ist diese angenommen, so wird man sofort erkennen, dass weder die Lichtausströmungen, noch die Schweife die Sternschnuppen erzeugen können; und zwar weil die Sternschnuppen aus einem Stoffe gebildet sind, welcher völlig den drei Kepler'schen Gesetzen gehorcht, und besonders dem dritten, welches jede Idee einer electiven Attraction ausschliesst. Wenn es nicht so wäre, so würden wir sie nicht von den Kometen in derselben Bahn begleitet sehen, und bei der Erscheinung der Novembermeteore würden wir den Kometen 1866 I nicht noch im Vortrab des Schwarmes nach einer beträchtlichen Anzahl von Umläufen (gewiss mehr als 29), welche das ganze System nach seiner Auflösung in einen Strom beschrieben hat, sich befinden sehen. Die Constante der Sonnenanziehung, welche die Bewegung der Sternschnuppen beherrscht, ist also gleich der allgemeinen Constante, welche die Bewegung der Planeten und der Kometen regulirt; oder wenigstens ist der Unterschied, wenn ein solcher existirt, für jetzt nicht wahrzunehmen. Ich glaube, dass dies Argument für immer jeglichen Versuch unmöglich machen wird, die Bildung der Sternschnuppen, sei es aus der Emission der Kometenkerne, sei es aus der Schweife der Kometen, herzuleiten: dies erfolgt unabhängig von den in dem vorigen § entwickelten Gründen. Hat sich die Schweifmaterie kaum von dem Kerne getrennt, so entfernt sie sich reissend schnell von der Sonne, indem sie Curven von hyperbolischer Beschaffenheit beschreibt, und kann nicht zu stabilen Bildungen, wie es die Meteorströme sind, Anlass geben. —

107. Professor Erman, welcher zuerst die astronomische Theorie der Bahn der Sternschnuppen in strenger Weise festgestellt hat, hat in der letzten Zeit eine Schrift



über diesen Gegenstand publicirt, in welcher er nach einer historischen Darlegung der hauptsächlichsten seit 1840 hierin gemachten Fortschritte es unternimmt, die verschiedenen Möglichkeiten zu untersuchen, welche sich uns darbieten, um die Art und Weise der Entstehung der Meteorströme zu begreifen. Anstatt mit Laplace anzunehmen, dass die Kometen einen Theil der Sternenwelt bilden und dass sie nur durch die Verbindung ihrer Bewegung mit der Eigenbewegung unseres Systemes in die Nähe der Sonne gelangen, betrachtet er die Kometen und die Sternschnuppen als von Alters her existierende Glieder unseres Sonnensystemes, obgleich er sie hernach als unabhängig von den Planeten ansieht. Während die Bahnen dieser letzteren den allbekannten Regeln unterworfen sind, würden nach Erman die Bahnen der nicht planetarischen Körper in allen ihren Elementen als durch den Zufall bestimmt anzusehen sein. Steigt man alsdann bis zu der Zeit hinauf, wo die grosse Nebelmasse, die Mutter unseres Systemes, sich noch bis jenseits der Bahnen aller Planeten erstreckte, so musste der Widerstand ihrer Materie offenbar dazu beitragen, die grossen Axen der von den Kometen oder von den Sternschnuppen durchlaufenen Bahnen zu verkleinern. Daher rührt auch die Verkürzung der Bahnen, durch welche die Kometen mit kurzer Umlaufzeit hervorgebracht sind und welche nach Erman auch für die Sternschnuppen ebenso kurze und noch kürzere Bahnen hat hervorbringen können.

Während der Widerstand eines von dem Laplace'schen Sonnennebel gebildeten Mittels zur Erklärung der Bahnen mit kurzer Umlaufzeit bei den nicht planetarischen Körpern dienen kann, verschafft sie uns auch eine einfache, wir können sogar sagen, elegante Art und Weise, die Bildung der ringförmigen Meteorströme uns vorzustellen. Der Widerstand eines Mittels gegen die fortschreitende Bewegung eines Körpers ist nämlich nicht nur von der Dichtigkeit dieses Mittels, sondern auch noch von der Grösse, der Dichtigkeit und der Gestaltung des sich bewegenden Körpers abhängig. Wenn wir uns also vorstellen, dass ein Haufen kleiner Körper, die unter sich verschiedene Masse, Gestalt und Dichte haben, sich um die Sonne bewegt, indem er ein widerstehendes Mittel durchstreift, so werden die Geschwindigkeiten dieser verschiedenen Körperchen von dem ungleichen Widerstande ungleich afficirt; hieraus wird sofort eine Verschiedenheit der Umlaufzeiten entstehen, welche den ursprünglichen Haufen in einen continuirlichen Ring umwandeln wird. Diese Art der Entstehung könnte man offenbar als annehmbar ansehen, sei es, dass wir mit Laplace die Kometen nach und nach aus den



Fixsternräumen zu uns kommen lassen, sei es, dass wir mit Erman sie seit ihrem ersten Ursprunge als unserm Sonnensysteme angehörig betrachten wollen. Wir werden sie als mehr oder weniger wahrscheinlich halten, je nachdem, mehr oder weniger wahrscheinlich für uns, die Wirksamkeit des widerstehenden Mittels erscheinen wird, um die Bahnen der Kometen mit kurzer Umlaufszeit hervorzubringen.

Wir sind aber im Stande, zu beweisen, dass von den beiden Ursachen, welche die Bahnen mit kurzer Umlaufszeit hervorzubringen fähig sind und welche in dem Widerstande der Urnebelmasse und in den von den grossen Planeten ausgeübten Störungen bestehen, die zweite viel wahrscheinlicher ist, als die erstere. Gegenwärtig steht dies fest, dass heutigen Tages in der That der Widerstand der Urnebelmasse, wenn er gleichwohl noch stattfindet, sicherlich keine grossen Einwirkungen mehr hervorbringt; der Faye'sche Komet hat dies in den letzten Jahren auf das Klarste gezeigt. Dahingegen hat fast unter unsern Augen der so gewaltige Jupiter zwei Kometen, den Lexell'schen und den von Brorsen, in die inneren Räume unseres Sonnensystems hineingeführt und ihre Bahnen zu solchen von kurzer Umlaufszeit umgelenkt; daher können wir mit Sicherheit den Schluss ziehen, dass wegen der ausserordentlich grossen Anzahl der Kometen solche Ereignisse in der Geschichte unseres Sonnensystems nicht gerade selten sind, und dass die von mir angenommene Ablenkung des Novemberschauers innerhalb der Grenzen der gewöhnlichsten Wahrscheinlichkeit liegt. Ich sage aber, dass die übriggebliebenen Denkmäler ehemaliger Evolutionen des Planetensystems in beredter Weise uns bezeugen, dass zu jeder Zeit die Störungen der Planeten die Hauptursache der, von den nicht planetarischen Körpern desselben Systemes beschriebenen Bahnen mit kurzer Umlaufszeit gewesen sind.

Es wird angenommen, dass der Sonnennebel ursprünglich mit einer rechtläufigen Rotationsbewegung begabt gewesen sei, deren Geschwindigkeit mit der successiven Verdichtung der Nebelmasse zugenommen habe. War es nun so, so müssen die Kometen mit directer Bewegung offenbar einen geringeren Widerstand erleiden, als die mit rückläufiger Bewegung. Daher würden von allen periodischen Bahnen der Kometen die mit kürzerer Umlaufszeit den rückläufigen Kometen, wenigstens im Allgemeinen, entsprechen müssen. Wenn wir dagegen die planetarischen Störungen in Wirksamkeit treten lassen, so wird man sich leicht überzeugen, dass die grösseren Aenderungen der Bahnen bei den Kometen mit directer Bewegung stattgefunden haben. Es würde zu weit führen, eine solche Behauptung hier beweisen zu wollen; es genügt als Beispiel



anzuführen, dass die Anziehung unseres Planeten gegen einen rechtläufigen Kometen, welcher eine parabolische und gegen die Erdbahn um  $18^\circ$  geneigte Bahn durchläuft, hinreichen kann, um die Parabel in eine Ellipse von 4,32 Jahren Umlaufszeit umzuwandeln; während die Kraft der Erde in Bezug auf die rückläufigen Novembersternschnuppen, welche eine ebenfalls um  $18^\circ$  gegen die Erdbahn geneigte Bahn durchlaufen, kaum dazu gelangen kann, die Umlaufszeit von 33,25 Jahren in eine von 28,67 Jahren umzuwandeln. Von den bekannten Kometen haben 26 eine sichere Periode unter 100 Jahren; unter diesen nur zwei, nämlich der Halley'sche Komet und der von 1866, eine rückläufige Bewegung; auch ist zu bemerken, dass ihre Perioden vergleichsweise lang sind, nämlich resp. 76 und 33 Jahre. Dies beweist auf das Klarste, dass die Kürze der Perioden von den planetarischen Störungen herrührt. Dies sind die Gründe, weshalb es mir nicht zweckmässig erschien, den Widerstand des Urnebels in die Theorie der Sternschnuppen einzuführen, um die Bildung der ringförmigen Ströme zu erklären. —

108. Ich will nun zuletzt die Frage in Betreff der möglichen Beziehung zwischen den Sternschnuppen und dem Zodiakallichte untersuchen. Schon im Jahre 1836 stellte Biot einige Argumente zu Gunsten der Ansicht auf, welche das Zodiakallicht als eine Wolke von kleinen planetarischen, sich um die Sonne bewegend, Körperchen betrachtet, deren Begegnung mit der Erde die Ursache der Sternschnuppenerscheinungen sein dürfte. Wenn man hätte beweisen können, dass die Bahnen der Sternschnuppen der Kreisform sehr nahe und gegen die Ebene der Ekliptik wenig geneigt wären, so würde die Biot'sche Hypothese ohne Zweifel eine bedeutende Wahrscheinlichkeit für sich gehabt haben. Die Analogie der Sternschnuppen mit den Kometen lässt es viel schwerer begreifen, wie Körper, welche Bahnen von jeder möglichen Neigung beschreiben, ein so innig an die Ebene der Ekliptik gefesselter Phänomen, wie es das Zodiakallicht ist, hervorbringen können. Faye verzweifelt jedoch nicht daran, dass es gelingen könne, diese Schwierigkeit zu beseitigen<sup>166)</sup>. Er bemerkt, dass die Bahnen der Kometen mit kurzer Umlaufszeit von der Ebene der Ekliptik wenig abweichen; dies ist eine natürliche Folge der Art und Weise, wie diese kurzen Perioden entstehen. Aber weder scheint die Anzahl der Kometen mit kurzer Umlaufszeit, im Vergleich zu der der andern, so gross, noch ihre Anhäufung um die Ebene der Ekliptik so innig und constant zu sein, um längs des

<sup>166)</sup> Comptes Rendus. t. LXIV. p. 554.



Thierkreises einen so beträchtlichen Ueberschuss an Licht hervorzubringen. Von einer Discussion von einer so unsicheren Beschaffenheit dürfen wir indessen keine Antwort auf diese Frage erhoffen. Ich will hingegen ein anderes Argument anführen, nach welchem es fast erwiesen bleiben wird, dass das Zodiakallicht nicht von einer meteorischen Wolke hervorgebracht werden kann, welche aus, den Sternschnuppen ähnlichen, Körperchen zusammengesetzt ist.

Die schöne Lichtpyramide, welche sich im Frühling nach Sonnenuntergang im Westen und im Herbst vor Sonnenaufgang im Osten zeigt, ist sehr bekannt. Der Umstand aber, dass diese Pyramide nicht das ganze Phänomen bildet, sondern nur den sichtbarsten und den am leichtesten zu beobachtenden Theil desselben ausmacht, ist vielleicht viel weniger bekannt. Wenn man nämlich das Zodiakallicht in einer günstigen Gegend, wie es einige der tropischen Gegenden und auch zuweilen unserer gemässigten Zonen sind, beobachtet, so findet man ausser dem Hauptscheine, welcher um die Sonne eine linsenförmige leuchtende Wolke bildet, noch einen anderen Lichtstreifen von ähnlicher Gestalt, aber ohne Vergleich von viel geringeren scheinbaren Dimensionen und viel blasserem Lichte; der Mittelpunkt desselben befindet sich constant in dem der Sonne diametral gegenüberstehenden Punkte der Ekliptik. Die Deutschen nennen diesen Streifen den Gegenschein, was sich in anderen Sprachen schwer übersetzen lässt. Dies ist aber noch nicht Alles. Dieser geringere Schein ist je nach den atmosphärischen Zuständen bald mehr, bald weniger intensiv, bald mehr, bald weniger lang; ein geübtes Auge aber wird bei günstigem Zustande der Luft zuweilen wahrnehmen können, wie das eine oder das andere seiner äussersten Enden, oder auch beide sich verlängern, bis sie die Enden des Hauptscheines erreichen. Unter dieser Gestalt bildet das Zodiakallicht eine einzige grosse Lichtzone, die sich über den ganzen Thierkreis ausdehnt und dessen eines Maximum der Intensität mit dem Orte der Sonne zusammenfällt<sup>167)</sup>, während ein anderes Maximum, das viel weniger deutlich ist, im entgegengesetzten Punkte sich befindet: zwei Minima finden an zwei Punkten statt, welche nach meinen Beobachtungen ungefähr  $130^{\circ}$  von der Sonne und  $50^{\circ}$  von dem Centrum des geringeren Scheines entfernt sein dürften.

Schon im Jahre 1730 hatte P. Pezenas das Zodiakallicht gleichzeitig im Osten und im Westen gesehen, indem

<sup>167)</sup> Wenigstens muss man es so annehmen, denn man kann das Zodiakallicht bekanntlich nicht in der nächsten Nähe der Sonne beobachten.



es den ganzen sichtbaren Theil des Thierkreises einnahm<sup>168</sup>); seine Beobachtung zeigt aber einige Umstände, welche es in Zweifel lassen, ob an diesem Tage es sich um das Zodiakallicht oder um ein Nordlicht handelte. Entscheidender ist der Bericht von Humboldt<sup>169</sup>), welcher bei seiner Beschiffung der aequinoctialen Meere zwischen 12° und 15° n. Br. im März 1803 folgende Worte schrieb, nachdem er die Pracht der westlichen Pyramide geschildert hatte: „Pendant que la lumière était très vive à l'ouest, nous observâmes constamment à l'est une lueur blanchâtre également pyramidale. Cette dernière était tellement forte, qu'elle augmentait à cet air de vent la clarté du ciel, de la manière la plus frappante. Les matelots mêmes furent émerveillés de cette double lueur à l'ouest et à l'est: et j'incline à croire que cette lueur blanche à l'est était le reflet de la véritable lumière zodiacale au couchant. Aussi toutes les deux disparaissaient-elles en même temps.“

Erst im Jahre 1854 entdeckte der Astronom Brorsen auf der Sternwarte zu Senftenberg den von ihm so genannten Gegenschein, indem er durch Beobachtung genau dessen Lage und Beschaffenheit bestimmte; auch blieb ihm die Verbindung desselben mit der westlichen Pyramide nicht verbor-gen. Er sagt<sup>170</sup>): „Man sieht einen Gegenschein nicht allein um die Zeit des Frühlings-, sondern auch des Herbstäquinoctiums, zur ersteren Zeit freilich viel augenfälliger. . . . Es ist eine Thatsache, wovon ich mich durch vielfältig wiederholte Beobachtungen überzeugt habe, dass die hellste Gegend desselben dem Sonnenorte gerade gegenüber liegt. . . . Ferner ergaben die Beobachtungen, dass der Frühlings-Gegenschein gegen Mitte April sich durch einen Lichtstreifen mit dem westlichen Zodiakallichte verbindet etc.“ Die Entdeckung von Brorsen wurde von Rev. G. Jones, einem amerikanischen Geistlichen, vervollständigt, welcher mehr als irgend ein anderer Beobachter die Erscheinungen des Zodiakallichtes mit Sorgfalt verfolgt hat. Er schrieb am 18. November aus Quito, einer Stadt, welche, wie kaum eine andere, zu dieser Art von Beobachtungen besonders geeignet ist<sup>171</sup>): „I see here every night and all through the night, a luminous arch, from east to west, quite across the sky. This arch, 20° wide, is visible at all hours, when the sky is clear, but is brightest and most striking when the ecliptic is vertical: at which

<sup>168</sup>) Mémoires de l'Académie des Sc. de Paris 1731.

<sup>169</sup>) Astron. Nachr. No. 989.

<sup>170</sup>) Astron. Nachr. No. 998.

<sup>171</sup>) Gould: Astronomical Journal No. 100.



times it looks almost like another Milky Way. It is very evidently the Zodiakal Light.“ In demselben Jahre 1856 erschien das Werk von J. Schmidt über das Zodiakallicht, in welchem er das Phänomen des Gegenscheines sehr ausführlich bespricht<sup>172)</sup>.

Mehrere Jahre hindurch habe ich jede günstige Gelegenheit benutzt, um nach eigenen Beobachtungen über den wahren Anblick des Zodiakallichtes urtheilen zu können; ich habe dabei eine vollkommene Bestätigung aller oben entwickelten Umstände gefunden. Obgleich das Klima von Mailand nicht zu den günstigsten hierfür gehört, so konnte dennoch der Gegenschein genügend oft beobachtet werden: man kann ihn sicherlich als eine nicht ungewöhnliche Erscheinung betrachten. Die Beobachtung ist alsdann besonders leicht, wenn das Centrum dieses Scheines im Sternbilde des Löwen oder in dem der Jungfrau ist; man beobachtet es seltener, wenn das Centrum im Wassermann, oder in den Fischen ist. Fast unmöglich aber gelingt es, den Gegenschein mit Sicherheit zu unterscheiden, wenn das Centrum in den südlichen Zeichen der Ekliptik ist, oder mit den Verästelungen der Milchstrasse sich vermengt, welche ein grosses Hinderniss für die Beobachtung bildet. Ich will schliesslich hinzufügen, dass ich in der Nacht des 3. Mai 1862 gegen 11<sup>h</sup>. 50<sup>m</sup>. das Zodiakallicht in Gestalt einer continuirlichen Brücke die ganze sichtbare Halbkugel des Himmels überziehen sah, indem es in einer Breite von ungefähr 15° die Sternbilder der Zwillinge, des Löwen, der Jungfrau, der Wage und des Scorpiones durchstrich. Die Luft war in diesem Augenblicke von einer wahrhaft ungewöhnlichen Reinheit; bald darauf erschien ein Nordlicht.

Diese Abschweifung über das Erscheinen des Zodiakallichtes gehört eigentlich nicht zu unserem Gegenstande: da es sich aber um die Feststellung der Wahrheit von so schwierig zu beobachtenden und so wenig bekannten Dingen handelt, so war es meine Pflicht, weitläufigere Erklärungen zu geben, als es sonst bei gewöhnlichen Fällen zweckmässig sein würde. Berühmte astronomische Schriftsteller haben die Beobachtungen von Brorsen und von Jones ignorirt, oder wenigstens in Vergessenheit gerathen lassen. Ich hoffe, dass Dasjenige, was ich darüber gesagt habe, genügen wird, um geübte Beobachter zu veranlassen, die Wahrheit dieser Beobachtungen, deren Wichtigkeit für die Theorie des Zodiakallichtes ausser-

---

<sup>172)</sup> Schmidt: Das Zodiakallicht. Braunschweig 1856 p. 19—21. Derselbe Astronom hat neuerdings sehr genaue Bestimmungen über den Gegenschein nach Beobachtungen in den Jahren 1867—1868 veröffentlicht. Astron. Nachr. No. 1726.



ordentlich gross ist, zu bestätigen, so wie ich es gethan habe. Will man in der That mit Cassini und den meisten Astronomen annehmen, dass das Zodiakallicht um die Sonne herum als ein sehr abgeplattetes Umdrehungsellipsoid angeordnet ist, oder als ein System von beinahe kreisförmigen und concentrischen Ringen, oder als eine in der Ebene der Ekliptik sich ausbreitende Scheibe, so wird es nach dem Gegenscheine sich klar ergeben, dass die Grenzen des Zodiakallichtes die Erdbahn übersteigen. Man kann aber noch hinzufügen: 1) dass das Zodiakallicht nicht aus einer Gesammtheit von phosphorescirenden oder selbstleuchtenden Körpern entstehen kann; 2) dass das Zodiakallicht auch nicht aus dem Reflex einer Wolke von festen Körpern, wie es die Aërolithen sind, entstehen kann. —

109. Man stelle sich (Fig. 28) um die Sonne S in der Ebene der Ekliptik einen kreisförmigen Ring von sehr kleiner Breite und Dicke vor, gleichförmig ganz und gar übersät mit leuchtenden oder phosphorescirenden Körperchen. Die Erde T sei im Innern dieses Ringes, TC eine Gesichtslinie, welche ihn in der Breite von VC durchstreift. Aus den Principien der Photometrie lässt sich nun leicht nachweisen, dass, wenn der Ring in Bezug auf das Licht seiner Körperchen homogen ist, der Lichteindruck in der Richtung VC oder die Lichtmenge, welche der Beobachter in T auf einer Quadratminute der Himmelskugel verbreitet sehen wird, von der Distanz TC unabhängig und nur proportional der Tiefe VC der leuchtenden Schicht in der Richtung der Gesichtslinie sein wird. Aus der Betrachtung des Dreiecks VCI ersieht man sofort, dass diese Tiefe VC der Secante des parallaktischen Winkels TCS proportional ist; hieraus schliessen wir alsbald, dass für die Punkte Q, Q' der Quadraturen, wo der parallaktische Winkel am grössten ist, auch die von dem Ringe verursachte grösste Erleuchtung des Himmels stattfinden wird, während die kleinste in den Punkten X, Y der Opposition und der Conjunction mit der Sonne sein wird. Betrachten wir nun statt eines Ringes eine aus concentrischen, homogenen Ringen (auch mit einer von einem Ringe zum andern veränderlichen Lichtdichte) bestehende Scheibe, so wird der Eindruck der ganzen Scheibe auf den Beobachter der eines Lichtstreifens sein. In der Richtung TX werden aber offenbar die partiellen Wirkungen der einzelnen Ringe stets einem Minimum entsprechen; daher wird auch die Summe der Wirkungen, oder die Gesamtwirkung, ein Minimum ergeben. In dem Punkte der Opposition wird man also ein Lichtminimum haben; dies ist aber gerade das Gegentheil von dem, was man bei dem Zodiakallichte, beobachtet. Dieses kann also keinesweges aus



der Wirkung leuchtender oder phosphorescirender Körperchen entstehen.

Nehmen wir nun an, dass XQY eine ringförmige homogene Wolke sei, welche aus kleinen dunkelen Körpern mit rauher Oberfläche bestehe. Die Neigungen aller Elemente ihrer Oberfläche werden zunächst als zufällig betrachtet werden können: die Wirkung wird daher dieselbe sein, als wenn alle Körper eine Kugelgestalt haben. Nehmen wir also an, dass alle diese Körperchen sphärisch und von der Sonne erleuchtet seien; sie werden alsdann das Licht fast nach Art des Mondes zurückwerfen; da es aber bei ihnen nicht zulässig ist, Berge anzunehmen, so werden die Gesetze der Reflexion genau sich so verhalten, wie für nicht glatte Kugeln, was für den Mond streng genommen nicht richtig ist<sup>173)</sup>.

Indem man die Formel annimmt, welche Lambert für die von einer nicht polirten Kugel in irgend einer Phase hervorgebrachte Reflexion aufgestellt hat<sup>174)</sup>, so erhält man aus der Betrachtung der Figur den Ausdruck:

$$J = A (\sin v + (\pi - v) \cos v) \sec v,$$

nach welchem man die Intensität J des auf eine Quadratminute des Himmelsgewölbes in der Richtung TC, für welche der Winkel TCS = v ist, zerstreuten Lichtes berechnen kann. Die Grösse A ist für alle Punkte der ringförmigen Wolke constant, wenn ihre Dicke in Bezug auf den Radius des Ringes unendlich klein ist. Man kann den Ausdruck für J auch so schreiben:

$$J = A (\tan v + \pi - v);$$

wenn man nun bedenkt, dass v, also der parallaktische Winkel stets kleiner ist als 90° (weil T innerhalb des Ringes angenommen wird), so wird man sofort einsehen, dass J mit der Zu- und Abnahme von v auch zu- und abnimmt; daher wird J in den Quadraturen am grössten und in der Conjunction und Opposition am kleinsten sein, genau so, wie bei dem vorhin betrachteten Falle.

Stellen wir uns also anstatt eines Ringes ein System von Ringen, oder eine Scheibe, oder ein sehr abgeplattetes Ellipsoid vor, so werden wir offenbar in der Richtung TX ein Minimum der Licht-Intensität erhalten. Da ferner die Beobachtungen des Zodiakallichtes in der Opposition ein Maximum der Licht-Intensität nachweisen, so wird die Unmöglichkeit, dass das erwähnte Licht von einer aus dunkelen, an ihrer Oberfläche nicht glatten, Körpern bestehenden Wolke herrühre, gerechtfertigt erscheinen. Ebenfalls als un-

<sup>173)</sup> Siehe Zöllner: Photometrische Untersuchungen. §§. 14—27.

<sup>174)</sup> Photometria §. 1047.



möglich wird sich ergeben, dass es von dunkelen Körpern, die zum Theil durch Phosphorescenz, zum Theil durch Reflexion leuchtend sind, herstamme. Nun ist aber die Materie der Sternschnuppen fest, wenigstens zum Theil: es ist auch wahrscheinlich, dass die Sternschnuppen an ihrer Oberfläche nicht glatte Körper sind. Aus diesem Grunde erscheint es sehr schwierig, anzunehmen, dass das Zodiakallicht von einem Complex einer unendlichen Menge von Sternschnuppen herstamme, die im Weltraume umherirren, mit eigenem Lichte leuchten oder von der Sonne erleuchtet sind <sup>175</sup>). —

---

<sup>175</sup>) Diese Schlussfolgerungen, zu denen ich im Jahre 1867 gelangt bin, wurden später durch die Untersuchungen von Angström bestätigt, welcher bei seiner Untersuchung des Spectrums des Zodiakallichtes fand, dass es aus einer hellen Linie besteht, welche mit der Hauptlinie des Spectrums des Nordlichtes identisch ist, S. Angström: *Recherches sur le spectre solaire* Pag. 42.



## Capitel IX.

### Beziehungen zwischen den Kometen, den Sternschnuppen und den Meteoriten.

110. Für die Erkenntniss der physischen Weltordnung ist die Frage von der höchsten Wichtigkeit, ob die Sternschnuppen und die Meteoriten einer und derselben Klasse von Körpern angehören, oder ob es nicht der Fall sei, und ferner von welcher Art der Unterschied zwischen beiden Klassen von Körpern sei, wenn man einen solchen annimmt. Mannigfaltige Ansichten sind bei Besprechung dieser Streitfrage ausgesprochen worden, und viele Untersuchungen wurden unternommen, ohne dass man zu einem sicheren und evidenten Resultate gelangte. In den folgenden §§. will ich nun die Argumente, welche man dafür und dawider angeführt hat, näher untersuchen und, wenn auch nicht das Wahre vom Falschen, so doch wenigstens das Wahrscheinliche von dem Unwahrscheinlichen trennen.

Die Identität der Sternschnuppen und der Meteoriten wird von Einigen geradezu geleugnet, von Anderen dagegen als eine offenbare Thatsache angenommen. Die Anhänger der ersten Ansicht führen als Beweis an, dass man noch niemals auch nur eine einzige Sternschnuppe auf die Erde hat fallen sehen und dass man noch nie eine mit den Händen hat berühren können. Hierauf entgegnen die Anhänger der Identitätstheorie, dass man in jedem Jahre Sternschnuppen auf den Erdboden fallen sehe, in der Gestalt von Meteorsteinen, welche Jedermann sehen, berühren und chemisch analysiren könne. Offenbar bewegen sich die Einen wie die Anderen in einem logischen Cirkel, indem sie gerade das als Beweis anführen, was erst bewiesen werden muss.

Ist es aber gleichwohl so gewiss, dass man noch nie eine Sternschnuppe den Erdboden berühren gesehen hat? Ich glaube es nicht; ich kenne wenigstens drei Fälle, welche man



gegen diese so häufig und feierlich wiederholte Behauptung anführen kann.

Der erste Fall soll sich bei Gelegenheit des grossen Meteorschauers von 1095 ereignet haben, welcher, nach Prof. Newton, eine Erscheinung desjenigen Schauers sein dürfte, den wir heutigen Tages um den 20. April herum, aber in viel geringerer Grösse, zu beobachten pflegen. „Eodem anno tot stellae de coelo cadere visae sunt, quod non poterant numerari. Inter quas quum unam magnam quidem labi in Gallia gens stuperet, notatoque loco, aquam ibi fudisset, fumum cum stridoris sone de terra exire obstupuit vehementer.“<sup>176)</sup> Dieser, obwohl sehr alte, Bericht ist mit einem so starken Anstriche der Wahrheit abgefasst, dass man ihn schwerlich als eine reine Erfindung betrachten kann.

Der zweite Fall ist von Prof. Haidinger in dem XLIV. Band der Sitzungsberichte der k. k. Akademie der Wissenschaften in Wien p. 373 u. ff. berichtet. Der von Herrn Mischitz, einem Augenzeugen, dem Prof. Suess eingereichte Bericht ist so wichtig, dass ich ihn hier wörtlich wiedergeben will. „Die Kugel bemerkte ich und die Bürger Jos. Kozel und Franz Romich circa um die  $\frac{1}{2}$  10. Stunde Abends am 31. Juli 1859 als sich plötzlich der Himmel gegen Norden erleuchtet hatte; und von Norden her über das Schloss Montpreis<sup>177)</sup> kam dieses Meteor mit einem zischenden, resp. einem gedehnten F ähnlichen Getöse durch die Luft herab, beinahe so in der Schnelligkeit wie eine Sternschnuppe, nur dass es leuchtender und grösser zu sehen war, und fiel gerade vor der Montpreiser Kirche, vor der Friedhofmauer, theils auf einen weissen Kiesstein, theils auf den festen Sandboden. Um denselben machte dieser Fall eine kleine Höhlung von kaum einer halben Nusschalen-Tiefe, verbrannte Stein- und Sandboden so gross als die Grösse eines silbernen Thalers, und die sämtlichen Bruchtheile waren circa 5—8 Secunden in glühendem Zustande zu sehen, so dass sich der Bürger Fr. Romich, als er einen davon aufklauben wollte, derbe am Finger verbrannte und wir uns demnach dasselbe nicht aufzuklauben getrauten. — Später nach einer kleinen Debatte von circa  $\frac{1}{4}$  Stunde hob ich die Stücke, deren nur drei von Belang, und so gross wie Nüsse, die übrigen jedoch wie Sand und Strassenstaub im schwarzgrau verbrannten Loche und am eben so verbrannten Steine zerstreut noch warm waren, auf, und gab die zwei, auch leider in Verlust nun gerathenen

<sup>176)</sup> Matth. Paris Historia Major. Londini 1640, citirt in den verschiedenen Verzeichnissen von Meteorerscheinungen.

<sup>177)</sup> In Steyermark lat.  $46^{\circ} 7'$ , long.  $33^{\circ} 8'$  von Ferro.



Stücke dem Bürger Kozel. — Das Feuer der Masse war mehr ins Gelbrothe schlagend. Der Fall bei der Berührung des Bodens war mit einem kleinen Knall (Plack), sehr ähnlich demjenigen, wenn Raketen, mit weissem Sternfeuer gefüllt, noch brennend den Wasserspiegel berühren, begleitet. — Die aufgeklaubten Stücke waren gleich einer Schlacke mit einer dünnen schwarzen Rinde, der verbrannte Theil an der Erde und am Steine war wohl 14 Tage sichtbar; nur muss ich nun bedauern, dass ich leider dem k. k. Hofmineraliencabinete mit keinem Fragmente dienen kann.“<sup>178)</sup> Dies sind aber gerade die Erscheinungen, welche man von einer Sternschnuppe erwarten kann, wenn sie dahin gelangt, den Erdboden zu berühren.

Ein dritter Fall ist zu Charleston (Süd - Carolina) am Abend des 16. Novembers 1859 gegen 8<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Uhr von Mr. Sparkman Scriven beobachtet, und über ihn ist von Mr. Shepard berichtet worden, welcher die Nachrichten, die er über denselben erlangen konnte, gesammelt und auch glücklich einen kleinen Theil der herabgefallenen Materie erlangt hat<sup>179)</sup>. „He saw a red, fiery ball of the size and shape of an orange, slowly descending through a distance apparently of 20 or 30 feet, to the ground. Its fall was scarcely more rapid than that of a soap bubble, giving him time to call his sister to see it strike a high wooden fence . . . . It seemed to adhere for an instant to the board against which it struck, and then separated into three parts and disappeared.“ Am folgenden Tage fand Sparkman Scriven, auf der Stelle, wo das Meteor herabgefallen war, „a small bristling mass of black fibres“, von denen ein Theil am 20. November in die Hände von Shepard gelangte. Aus den mit ihnen angestellten Untersuchungen schloss Shepard, dass diese Fasern von mineralischer, zum Theil erdiger, Beschaffenheit waren mit einem kleinen Theile Kohle. Ihr Anblick war von dem aller bekannten organischen und unorganischen Körper verschieden.

Shepard citirt noch zwei andere Erscheinungen, welche man als Niederfälle von Sternschnuppen ansehen könnte, wenn die betreffenden Notizen über dieselben nicht gewichtige Gründe zum Zweifel an ihnen darböten. Einige andere Fälle, die ebenfalls nicht gut bewahrheitet sind, findet man bei Chladni citirt. Ich will hier auch nicht von dem Herabfallen gallertartiger Massen sprechen, über welche Prof. Galle in einer neueren Abhandlung<sup>180)</sup> die betreffenden Notizen zusam-

<sup>178)</sup> Sitzungsberichte der k. k. Akad. d. Wiss. in Wien. Bd. XLIV. pag. 374.

<sup>179)</sup> American Journal of Science 1859 Spt. pag. 270 und ff.

<sup>180)</sup> Galle, Ueber den gegenwärtigen Stand der Untersuchungen



mengestellt hat; denn man kann mit Recht daran zweifeln, dass diese Materien irgend eine, wenn auch noch so entfernte, Beziehung zu den Sternschnuppen und im Allgemeinen zu den kosmischen Meteoren haben.

111. Gegen die Identität der Sternschnuppen und Meteoriten pflegt man die grosse Verschiedenheit der äusseren Erscheinung anzuführen, welche diese beiden Arten von Phänomenen darbieten. Der schweigsame und augenblickliche Glanz der Sternschnuppen, ihr gewöhnlich so reines und ruhiges Licht, können, wie es scheint, mit dem Schrecken erregenden Beiwerk von Rauch und Flammen, von Pfeifen und Zischen und von Detonationen, welche das Herabfallen der Meteoriten begleiten, nicht leicht verglichen werden. Man kann sich auch nicht leicht vorstellen, wie schwere Stein- und Eisenmassen in der Luft nach wenigen Augenblicken verschwinden können, ohne irgend eine zu beobachtende Spur von sich zu hinterlassen.

Andererseits hat man richtiger Weise bemerkt, dass die äusseren Erscheinungen der Sternschnuppen und die der Meteoriten, obgleich auf den ersten Blick so sehr verschieden, die äussersten Punkte einer Skala von Phänomenen bilden, welche von einem Punkte zum andern eine continuirliche Reihe von Abstufungen darbietet, bei welcher man schwer die Grenze einer Trennung in zwei deutlich bestimmte Klassen unterscheiden kann. Betrachten wir das Herabfallen der Meteoriten, so finden wir, dass dieses im Allgemeinen von dem Zerplatzen eines grossen Meteores begleitet ist, welches gewöhnlich über einen grossen Landstrich hin sichtbar ist. Das Erscheinen des Meteores und das Herabfallen der Meteoriten sind zwei verschiedene Thatsachen, deren innerer Zusammenhang durch die Identität der Zeit und des Ortes ihrer Beobachtung festgestellt ist. Häufig aber kommt es vor, dass man grosse Meteore unter Entwicklung eines intensiven Lichtes und starker Detonationen zerplatzen sieht, ohne dass es gelingt, das Herabfallen irgend eines Meteoriten zu constatiren. Man nimmt in diesen Fällen gewöhnlich an, und wie ich glaube mit Recht, dass das detonirende Meteor ebenfalls zu der Klasse der Meteoriten gehört. Die Auffindung der herabgefallenen Steine hängt in der That von vielen zufälligen Umständen ab. Man kann auch der Ansicht sein, dass die nichtaugenblickliche Verbrennung des Meteores und die Bewegung der Luft, welche die Detonation hervorbringt, die einzelnen

---

über die gelatinösen sogenannten Sternschnuppen-Substanzen. Breslau 1869. Aus den Abhandlungen der Schlesischen Gesellschaft für vaterländische Cultur. Sitzung vom 10. Jan. 1869.



Theile in Dämpfe oder auch in kleine Staubkörnchen auflösen könne. In verschiedenen Fällen und neuerdings noch zu Pultusk, fielen die Meteoriten von feinem Sande herab.

Die detonirenden Meteore aber, sei es, dass sie Meteoriten hervorbringen oder nicht, bieten je nach der Entfernung, von welcher aus sie beobachtet werden, verschiedene Erscheinungen dar. Die Detonation hängt nicht nur von der Entfernung ab, sondern auch von dem Grade der Dichtigkeit der Luftschicht, in welcher das Meteor zerplatzt; hieraus folgt, dass ein Meteor für den einen Beobachter detonirend sein kann und nicht detonirend für einen anderen; ebenso, dass ein und dasselbe Meteor, welches in tieferen Schichten detonirt haben würde, bei seinem Zerplatzen in grösserer Höhe lautlos erscheinen wird. Die Detonation ist also offenbar ein zufälliges Kennzeichen, welches als Grundlage für eine Unterscheidung der Meteore in verschiedene Klassen nicht angenommen werden kann.

Die Grösse und die Lichtintensität der Meteore kann noch weniger für diesen Zweck dienen; denn hierbei sind sowohl die Entfernung des Beobachters als auch der Zustand der Atmosphäre von Einfluss. Die Beobachtungen bei den erwähnten Meteoriten von Pultusk sind in dieser Beziehung sehr instructiv<sup>181)</sup>. Während die Bewohner in der Nähe dieser Stadt von mehreren Tausenden von Steinen bombardirt worden, ist das Meteor in Breslau, wie „von einem wahrhaft prachtvollen Feuermeere“ begleitet, beobachtet worden, aber ohne dass eine Detonation bemerkt wurde. In Ragendorf in Ungarn wurde es als „ein ungewöhnlich hell leuchtendes Meteor“ gesehen, welches nahe dem Horizonte 2 oder 3 mal heller als Venus war. An vielen Orten bot der Anfang des Meteoroiden keinen, von dem einer gewöhnlichen Sternschnuppe verschiedenen, Anblick dar. Es ist wohl glaublich, dass an noch weiter entlegenen Orten das Meteor von Pultusk die Erscheinungen einer gewöhnlichen Sternschnuppe wird dargeboten und gerade aus diesem Grunde die Aufmerksamkeit der Beobachter nicht auf sich gelenkt haben.

Man könnte vielleicht als Princip der Unterscheidung zwischen den Sternschnuppen und den Meteoriten die Explosion (nicht zu verwechseln mit der Detonation) annehmen, welche im Allgemeinen das Ende des atmosphärischen Weges der grossen Meteore, aus denen die Meteoriten herabfallen, be-

---

<sup>181)</sup> Galle: Ueber die Bahn des am 30. Januar 1868 beobachteten und bei Pultusk im Königreiche Polen als Steinregen niedergefallenen Meteors. Breslau 1868.



zeichnen. Diese Explosion muss natürlich bei allen detonirenden Meteoren stattfinden; man könnte nun annehmen, dass auch die nicht detonirenden Meteore, welche am Ende ihres Weges explodiren, zu derselben Klasse gehören, während es naturgemäss erscheinen dürfte, diejenigen als Sternschnuppen zu betrachten, welche nach und nach, oder auch plötzlich, verlöschen, aber ohne zu zerplatzen und sich in Funken aufzulösen. Die Explosion findet bekanntlich im Allgemeinen bei den grösseren Meteoren statt, welche ohne diese zu den gewöhnlichen Sternschnuppen gezählt werden könnten; und wenn die Explosion auch bei kleineren Meteoren erfolgt, so dürfte die Annahme wohl erlaubt sein, dass der geringe Glanz dieser Meteore von der Entfernung oder auch von der Kleinheit des meteorischen Körpers herrühre.

Aber auch dies Kriterium der Unterscheidung ist falsch. Solche explodirende Meteore wurden bei Gelegenheit der Meteorschauer des Novembers in beträchtlicher Anzahl beobachtet, und die meisten von ihnen, auch von dem bekannten Radiationspunkte der Leoniden her ausstrahlend gefunden. Dies zwingt uns zu der Schlussfolgerung, dass in diesem Falle die explodirenden Meteore nichts anderes waren, als eine besondere Art von Sternschnuppen und dass die Erscheinung der Explosion den zu der Klasse der Meteoriten gehörenden Meteoren nicht allein eigenthümlich ist. Wenn man annehmen wollte, dass einige Meteoriten die Sternschnuppen des Novembers in derselben Bahn begleiteten, so würde man damit implicite zu der Annahme einer möglichen Identität der Sternschnuppen und der Meteoriten gelangen. Wir schliessen aus allem diesem, dass die Verschiedenheit der Erscheinungen, unter welchen die verschiedenen Arten der kosmischen Meteore sich uns zeigen, keine genügende Grundlage gewährt, um zu beweisen, dass sie alle nicht einer und derselben Klasse von Körpern angehören. —

112. Noch Andere haben es für unmöglich gehalten, den Körpern, welche die eigentlichen Sternschnuppen hervorbringen, dieselben physischen Eigenschaften beizumessen, welche den Aërolithen angehören, so besonders die Dichtigkeit und die Masse derselben und ihre metallische oder steinige Beschaffenheit. Man kann nicht leugnen, dass die fast augenblickliche Auflösung einer solchen Masse in den dünneren atmosphärischen Schichten ein ganz und gar ausserhalb des Kreises unserer Experimente befindliches Phänomen ist. Aber auch die planetarischen Geschwindigkeiten, mit welchen die Sternschnuppen in die Atmosphäre eintreten, befinden sich ausserhalb der Grenzen unserer Erfahrung. Wird diese Geschwindigkeit zugegeben und nimmt man ihre fast



augenblickliche, von dem Widerstande der Luft hervorgebrachte, Vernichtung an, so widerstreitet die völlige Auflösung des meteorischen Körpers in nichts den Principien der neueren Physik, wie ich es im ersten Capitel §§. 22—24 angedeutet habe. Will man die einfache Umwandlung der Bewegung in Wärme nicht als eine genügende Ursache hierfür gestatten, so dürfte die Annahme einer starken Aenderung des elektrischen Zustandes uns auf ein Feld führen, wo uns die Erfahrung täglich analoge Erscheinungen der von dem Blitze verursachten Auflösung zeigt.

Ueberdies glaube ich bewiesen zu haben, dass die Sternschnuppen feste Körper sind (§§. 16 und 17); giebt man dies zu, so wird die Auflösung der Sternschnuppen in den dünneren Schichten der Atmosphäre eine Thatsache, welche schwer zu erklären, aber unmöglich zu leugnen ist. Die ganze Frage reducirt sich alsdann darauf, eine grössere oder geringere Dichtigkeit oder Entzündbarkeit dieser Körper anzunehmen, welche die Verbrennung und Zerstreuung derselben mehr oder weniger erleichtert. Die Schwierigkeit, sich eine Vorstellung von der Auflösung schwerer und compacter Körper allein vermittelst des Widerstandes einer sehr dünnen Atmosphäre zu machen, kann also nicht als ein entscheidendes Argument in der vorliegenden Frage betrachtet werden. —

113. Grössere Bedenken gegen die Identität aller Arten von Meteoren stammen von der Betrachtung des Gewichtes der Körper her, welche als Meteoriten auf die Erde fallen. Es ist sonderbar, dass diese Körper, wenn sie einzeln herabfallen, im Allgemeinen eine innerhalb gewisser Grenzen befindliche Masse besitzen, welche, wenn es sich um Meteorsteine handelt, Hundert Kilogramme selten übersteigt und selten weniger als ein Kilogramm beträgt. Kleine isolirte Stücke fallen fast nie herab; ist dagegen der Meteorit ein vielfacher, so bilden die kleineren Stücke zuweilen einen beträchtlichen Theil des Gesamtgewichtes; die Grösse dieser Stücke kann bis jenseits jeglicher Grenze abnehmen, bis sie zu kleinen Körnchen von Meteorstaub reducirt werden. Man kann in Wahrheit sagen, dass, wenn ein kleiner Körper einzeln für sich herabfalle, er schwer aufzufinden sein dürfte. Man kann aber auch bemerken, dass, wie bei den Sternschnuppen, eben so bei den Meteoriten die kleineren Körper zahlreicher sein müssten, als die grösseren, und dass sie nicht haufenweise, sondern einzeln herabfallen müssten; daher dürfte die Schwierigkeit ihres Auffindens durch ihre grössere Anzahl compensirt werden. Damit der Leser hierüber selbst sein Urtheil sich bilden kann, habe ich mit Hülfe des Werkes von Dr. Buchner über die



Meteoriten<sup>182)</sup> diejenigen Meteorsteine, von denen man vermuthen kann, dass sie als einzelne Körper herabgefallen seien, nach ihrem Gewichte geordnet und bin zu folgenden Resultaten gelangt:

|                                 |         |                              |         |
|---------------------------------|---------|------------------------------|---------|
| Ensisheim . . . . .             | 127 Kg. | Wessely . . . . .            | 3,8 Kg. |
| Timochin . . . . .              | 70 „    | Slobodka . . . . .           | 3,5 „   |
| Chantonay . . . . .             | 35 „    | Pohlitz . . . . .            | 3,5 „   |
| Chateau-Renard . . . . .        | 30+ „   | Charvallas . . . . .         | 3,5 „   |
| Wold Cottage . . . . .          | 25,5 „  | Mooresfort . . . . .         | 3,3 „   |
| Bachmut . . . . .               | 20 „    | Kleinwenden . . . . .        | 3 + „   |
| Vouillé . . . . .               | 20 „    | Girgenti . . . . .           | 3 + „   |
| Mauerkirchen . . . . .          | 19 „    | Eichstädt . . . . .          | 3 „     |
| Forsyth . . . . .               | 18 „    | Kirgisiensteppe . . . . .    | 3 „     |
| Ohuba . . . . .                 | 16 „    | Bremervörde . . . . .        | 2,75 „  |
| Okaninach . . . . .             | 15 „    | Tounkin . . . . .            | 2,5 „   |
| Dooralla . . . . .              | 13 „    | Nobleborough . . . . .       | 2 + „   |
| Yatoor . . . . .                | 13 „    | Richmond . . . . .           | 2 „     |
| Gross-Divina . . . . .          | 10,7 „  | Lharwar . . . . .            | 2 „     |
| Salés . . . . .                 | 10 „    | Dinum . . . . .              | 1,7 „   |
| Cabarras . . . . .              | 10 „    | Stawropol . . . . .          | 1,6 „   |
| Meno . . . . .                  | 10 „    | Petersburg (N. A.) . . . . . | 1,5 „   |
| Nanjemoy . . . . .              | 8 „     | Favars . . . . .             | 1,5 „   |
| Tschirskaja-Stanitzza . . . . . | 8 „     | Esnandes . . . . .           | 1,5 „   |
| Schönenberg . . . . .           | 8 „     | Mässing . . . . .            | 1,4 „   |
| Seres . . . . .                 | 7,5 „   | Caswell Co. . . . .          | 1 + „   |
| Bishopville . . . . .           | 6,5 „   | Grüneberg . . . . .          | 1 + „   |
| Borkût . . . . .                | 6 „     | Launton . . . . .            | 1 + „   |
| Quenggouk . . . . .             | 6 „     | Schie . . . . .              | 0,85 „  |
| Bourbon-Vendée . . . . .        | 5,5 „   | S.Denis (Belgien) . . . . .  | 0,75 „  |
| Cereseto . . . . .              | 5 „     | Uden . . . . .               | 0,7 „   |
| Sena . . . . .                  | 4,5 „   | Alsworth . . . . .           | 0,6 „   |
| Lucé . . . . .                  | 4 „     | Kakowa . . . . .             | 0,58 „  |
| Saurette . . . . .              | 4 „     | Castine . . . . .            | 0,042 „ |
| Chassigny . . . . .             | 4 „     | Concord . . . . .            | 0,024 „ |
| Kaba . . . . .                  | 4 „     |                              |         |

Von den 61 hier erwähnten Fällen entsprechen 40 den Gewichten zwischen 1 und 10 Kilogrammen; zwischen 0 und 4 Kilogrammen scheinen alle Gewichte gleich wahrscheinlich zu sein. Wenn die Grösse der Gewichte dasselbe Gesetz befolgen müsste, wie der Glanz der Sternschnuppen, so müsste die Wahrscheinlichkeit fortdauernd und schnell mit der Abnahme des Gewichtes zunehmen. Dies würde also zu be-

<sup>182)</sup> Buchner: Die Meteoriten in Sammlungen, ihre Geschichte, mineralogische und chemische Beschaffenheit. Leipzig 1863.



weisen scheinen, dass die beiden Arten von Meteoren verschiedenen Klassen von Erscheinungen angehören.

Gegen diese Deductionen kann man aber einwenden, dass die Seltenheit der kleinen isolirt herabfallenden Meteoriten auch sehr gut durch die Annahme der Identität der Meteoriten und der Sternschnuppen erklärt werden kann. Aus der Betrachtung der Höhe der Temperatur, welche in dem Innern einer meteorischen Masse durch die Zerstörung seiner lebendigen Kraft in Folge des Widerstandes der Atmosphäre hervorgebracht werden kann, haben wir in der That gefunden (§. 24), dass diejenigen Massen leichter auf die Erde gelangen können, bei welchen die kosmische Anfangsgeschwindigkeit langsamer zerstört wird. Dies ereignet sich in drei Fällen: 1) wenn es sich um sehr grosse und sehr dichte Meteormassen handelt (§§. 20 und 21); 2) wenn die Massen, mögen sie auch klein sein, andere grössere Massen begleiten und während ihres Herabfallens den leeren Raum einnehmen, welchen die grösseren hinter sich zurücklassen; 3) wenn Massen von beliebiger Grösse in fast horizontalen Richtungen in die Atmosphäre eintreten. Auf diese Weise könnte man es sich erklären, warum die kleinen Meteormassen nicht in grösserer Menge herabfallen, als die grösseren von 2, 3, 4 oder noch mehr Kilogrammen. —

114. Man hat neuerdings eine offenbare Widerlegung der Identität der Sternschnuppen und der Meteoriten in der Thatsache zu finden geglaubt, dass das Herabfallen der Meteoriten nicht denselben Gesetzen der täglichen und jährlichen Variationen zu folgen scheine, welche die Häufigkeit der Sternschnuppen reguliren. Greg und Haidinger haben die Meteoritenfälle nach den verschiedenen Tagesstunden (in Ortszeit) geordnet und gefunden, dass die grösste Menge der Fälle des Abends und die kleinste des Morgens stattfindet<sup>183)</sup>. Dies würde also gerade das Gegentheil von dem sein, was bei den Sternschnuppen erfolgt. Obgleich man nun in den Abendstunden diese Erscheinungen viel leichter beobachten kann, so muss man dennoch bedenken, dass das Herabfallen der Meteoriten von einem solchen Beiwerk von Erscheinungen begleitet zu werden pflegt, dass die Aufmerksamkeit auch der nicht darauf achtenden Beobachter, selbst wenn sie schon in Schlaf versunken sind, erregt wird. Man kann also nicht daran zweifeln, dass die Sternschnuppen und die Meteoriten in ihrer täglichen Variation ein verschiedenes Gesetz befolgen. Diese Verschiedenheit ist auch in der jährlichen Variation

<sup>183)</sup> Greg, Report of the British Association 1860 p. 117. Haidinger, Sitzungsberichte der k. k. Akad. d. Wissenschaften zu Wien. Bd. LV. p. 131 und 651.



noch merklich, welche für die Meteoriten nicht jenes numerisches Uebergewicht in dem zweiten Semester des Jahres gegen das erste ergiebt, welches man bei den Sternschnuppen bemerkt.

Dies Argument ist anscheinend sehr gewichtig; aber seine Wichtigkeit verschwindet, wenn man die Ursachen näher untersucht, welche die täglichen Variationen der Sternschnuppen hervorbringen, und wenn man sie mit den Ursachen vergleicht, von denen die tägliche Variation der Häufigkeit der Meteoriten abhängt. Für die Sternschnuppen besteht die Ursache der täglichen Variation in der Verbindung der Bahnbewegung der Erde mit ihrer täglichen Rotationsbewegung. Daher kommt es, dass die den Apex umgebenden Theile des Himmels (welche gegen 6 Uhr Morgens culminiren) eine viel grössere Fülle von Sternschnuppen zu entsenden scheinen, als die entgegengesetzten Gegenden des Himmels (Cap. VI.) Wenn die Atmosphäre der Erde nicht existirte, so würden wir keinen Grund für die Vermuthung haben, dass dasselbe nicht auch für die Meteoriten sich ereignen müsse.

Die Gegenwart der Atmosphäre kann aber die Sachlage völlig ändern. Wir erinnern zunächst daran, dass die Geschwindigkeit, mit welcher die Meteore in der Richtung des Apex herabfallen, nothwendigerweise viel grösser sein muss, als die der in der entgegengesetzten Richtung herabfallenden Meteore, weil in dem ersteren Falle die absolute Geschwindigkeit des Meteors sich zu der der Erde addirt, im zweiten Falle aber von dieser sich subtrahirt. Nehmen wir nun an, dass die Bahnen dieser Körper parabolisch sind, wie die der Sternschnuppen, so wird die Fallgeschwindigkeit in der Richtung des Apex zu der entsprechenden Geschwindigkeit in der entgegengesetzten Richtung sich verhalten (s. §. 52) wie 4,34 : 1. Deshalb wird der Widerstand der Atmosphäre in einer von der Seite des Apex her herabfallenden Masse  $(4,34)^2$ , also 19mal mehr Wärme erzeugen können, als in einer gleichen Masse, die von der entgegengesetzten Seite her herabfällt. Dies ist gleichbedeutend mit dem Satze, dass die Ursache, welche die Auflösung der Meteore in der Atmosphäre veranlasst, in der Gegend des Apex 19mal intensiver ist, als in der entgegengesetzten: daher müssen wir erwarten, dass unter 100 in derselben Richtung herabfallenden Meteoren eine viel grössere Anzahl bis zur Erde gelangt, wenn diese Richtung dem Apex entgegengesetzt ist, als wenn sie mit ihm zusammenfällt. Kurz, wenn die Menge der Meteore in dem Theile des Apex auch grösser ist, so ist doch die Ursache, welche ihnen gestattet, der Auflösung zu entgehen und bis zur Erde zu gelangen, auf der entgegengesetzten Seite überwiegend. Je



nach dem grösseren oder geringeren Betrage dieses Uebergewichtes wird die tägliche Variation des Falles der Meteoriten dasselbe Gesetz befolgen können, wie für die Sternschnuppen, oder sie wird es nicht befolgen, oder auch in ein entgegengesetztes Gesetz umschlagen; dieser letztere Fall ist derjenige, welcher in Wirklichkeit stattzufinden scheint. Auf dieselbe Weise kann man sich die Verschiedenheit, die in Betreff des Gesetzes der jährlichen Variation obzuwalten scheint, erklären.

Es ist also nicht gestattet, aus dem Gesetze der täglichen und jährlichen Variationen der Menge der Aërolithen irgend einen Inductionsschluss gegen ihre Identität mit den Sternschnuppen zu ziehen, weil man dieses Gesetz in völlig befriedigender Weise erklären kann, auch wenn man diese Identität annimmt. —

115. Von ähnlicher Beschaffenheit ist das den grossen Sternschnuppenschauern entnommene Argument, welche (so sagt man) ebenfalls eine verhältnissmässige Vermehrung der Menge der Meteoriten für dieselben Epochen des Jahres verursachen müssten. Nun ist es aber sehr richtig, dass während der grossen Schauer der Perseiden und Leoniden nicht mehr Meteoriten herabfallen, als zu anderen Epochen des Jahres. Man muss aber bedenken, dass der Radiant der Perseiden nur  $40^\circ$  vom Apex entfernt ist, und dass die Geschwindigkeit, mit welcher die Perseiden auf die Erde herabfallen, 59800 Meter beträgt, die zu den grössten gehört, die wir bei den Sternschnuppen kennen. Der November-Radiant ist vom Apex nur  $10^\circ$  entfernt, und die Fallgeschwindigkeit seiner Meteore beträgt 71150 Meter, nur wenig geringer als die grösste Geschwindigkeit, die man für die Sternschnuppen annehmen kann. Diese beiden Meteorschauer stürzen auf die Erde mit solchem Ungestüm, dass die gänzliche Auflösung ihrer Meteore in der Atmosphäre nicht gerade eine absurde Annahme ist.

Wenn aber ein Meteorschauer mit einer verhältnissmässig kleinen Geschwindigkeit auf die Erde herabfiele, so könnte man sehr richtiger Weise eine entsprechende Vermehrung der Menge der Meteoriten zu dieser Epoche von ihm erwarten. Ein solcher Fall müsste z. B. für diejenigen Sternschnuppen sich ereignen, welche man als von dem Biela'schen Kometen abstammend hält, und die in grosser Fülle in den ersten Tagen des December sich anzeigen. Der Radiationspunkt dieser Meteore ist No. 176 unterer Tabelle der Radiationen (S. pag. 92 und 93), seine scheinbare Elongation vom Apex ist  $115^\circ$ , die Fallgeschwindigkeit seiner Meteore beträgt nur 19200 Meter, ist also nur wenig grösser, als das Minimum der Geschwindigkeiten. Nun ist es aber in der That con-



statirt, dass die ersten Tage des Monats December durch ein Maximum von Aërolithenfällen sich auszeichnen, wie man in der schon citirten Abhandlung von Greg und in einem Artikel von Prof. d'Arrest in No. 1633 der Astronomischen Nachrichten finden kann, wo dieser auf die Möglichkeit hinweist, dass diese Aërolithen von der Auflösung des Biela'schen Kometen herkommen.

Wir schliessen nun, dass das Fehlen der Meteoriten während der Erscheinungen der Perseiden und der Leoniden nicht als ein Beweis gegen die Identität der Sternschnuppen und der Meteoriten angesehen werden kann. Andererseits dürfte die grössere Menge von Meteoriten und Sternschnuppen in den ersten Tagen des Decembers ein günstiges Argument für diese Identität ergeben, wenn diese Coincidenz nicht auch als ein Werk des Zufalles betrachtet werden könnte. —

116. Keine also der zur Prüfung bis jetzt angeführten Thatsachen giebt in dieser uns hier beschäftigenden Frage eine genügende Entscheidung. Es giebt aber noch andere Beobachtungen, denen man, wie es scheint, ein grösseres Gewicht zuschreiben muss: dies sind zunächst die Beobachtungen in Betreff der Geschwindigkeit, mit welcher die Meteorsteine in unsere Atmosphäre eintreten.

Es ist in der That wohl bemerkenswerth, dass man alle Male oder fast alle Male, wenn man mit irgend welcher Annäherung die Geschwindigkeit, mit welcher ein Meteorit oder eine Gruppe von Meteoriten in die Atmosphäre eingedrungen ist<sup>184)</sup>, hat untersuchen können, auch gefunden hat, dass die entsprechende absolute Geschwindigkeit grösser als die parabolische war; man nahm nun eine hyperbolische, von der parabolischen sehr verschiedene, Bahn um die Sonne an. Da man solche Bahnen weder in der Kometenwelt, noch bei den periodischen Meteorströmen findet, so würde die oben erwähnte Thatsache, wenn sie ausser allem Zweifel wäre, für sich allein genügen, für die Nicht-Identität der Sternschnuppen und der Meteoriten zu entscheiden. Ich will nun die Beispiele solcher hyperbolischer Bahnen erwähnen, welche zu meiner Kenntniss gelangt sind.

Eines von ihnen ist durch die mehrfach erwähnte Feuerkugel von Pultusk gegeben. Prof. Galle hat eine grosse Anzahl von Beobachtungen ihrer Bahnen zwischen dem Punkte, wo die Feuerkugel anfang sichtbar zu werden, und dem Punkte

<sup>184)</sup> Man muss diese Geschwindigkeit nicht mit derjenigen verwechseln, welche die Meteoriten in dem Augenblicke besitzen, wo sie den Boden erreichen. Diese ist gewöhnlich sehr klein und kann keine Vorstellung von der planetarischen Geschwindigkeit gewähren, mit welcher sie den Himmelsraum durchheilt haben.



ihres Zerplatzens gesammelt<sup>185)</sup>, und nicht weniger als 29 Schätzungen ihrer Dauer gegeben. Er hat die absolute Geschwindigkeit der Feuerkugel im Raume zu 7,25 d. Meilen in der Secunde berechnet, welche der Excentricität 2,28 entspricht, also einer stark hyperbolischen Bahn. Man kann nicht leugnen, dass diese Resultate in hohem Grade von der Genauigkeit abhängen, mit welcher ein plötzlich überraschter Beobachter die Dauer einer Erscheinung abschätzen kann, welche wohl dazu geeignet ist, ihm die für eine solche Schätzung nöthige Ruhe des Geistes zu rauben. Bei näherer Erwägung der von den verschiedenen Beobachtern gemachten Angaben ist es aber schwer, nicht mit Prof. Galle anzunehmen, dass man die Geschwindigkeit der Feuerkugel keineswegs auf die parabolische Geschwindigkeit reduciren könne, ohne bei einer grossen Anzahl von geübten und glaubwürdigen Beobachtern unwahrscheinliche Fehler vorauszusetzen. Wenn man ferner überlegt, dass die so abgeschätzte Geschwindigkeit einer von der Feuerkugel unter dem Einflusse des Widerstandes der Atmosphäre durchlaufenen Bahn angehört (von der Höhe von  $16\frac{1}{2}$  d. Meile bis zu  $5\frac{1}{2}$  d. Meile)<sup>186)</sup>, und wenn man die Schnelligkeit berücksichtigt, mit welcher auch die dünnsten atmosphärischen Schichten die Anfangsgeschwindigkeit des Projectiles vermindern, so werden wir uns wohl zu der Vermuthung hinneigen, dass die kosmische Geschwindigkeit der Feuerkugel von Pultusk noch grösser und die Hyperbel noch excentrischer gewesen sei, als wie aus den Berechnungen von Prof. Galle hervorgeht.

Ein zweites Beispiel finde ich in der Abhandlung des Prof. Heis über die grosse detonirende Feuerkugel, welche am Abende des 4. März 1863 über Holland, die Zuyder-See und die Nordsee beobachtet wurde<sup>187)</sup>. Die Bestimmung der Bahn konnte mit grosser Genauigkeit mit Hülfe vieler und guter Beobachtungen ermittelt werden. Die Dauer, welche das Meteor zur Durchlaufung seiner Bahn gebrauchte, wurde aus 7 sehr gut übereinstimmenden Beobachtungen geschlossen. Prof. Heis hat die absolute Geschwindigkeit im Himmelsraume zu 9,14 d. Meilen in der Secunde berechnet, welche fast das Doppelte der Bahngeschwindigkeit der Erde ist; da die Excentricität der durchlaufenen Hyperbel 8,74 und der Asymptoten-Winkel  $163\frac{1}{2}^{\circ}$  betrug, so war die Bahn des Meteores innerhalb des Planetensystems von einer geraden Linie wenig verschieden.

<sup>185)</sup> S. die in Note 181 erwähnte Abhandlung.

<sup>186)</sup> Galle in der citirten Abhandlung pag. 6.

<sup>187)</sup> Heis: Die grosse Feuerkugel, welche am Abende des 4. März 1863 in Holland, Deutschland, Belgien und England gesehen worden ist. Halle, 1863.



In No. 1180 der Astronomischen Nachrichten hat Petit für eine in Frankreich am 29. October 1857 gesehene Feuerkugel ebenfalls eine hyperbolische Bahn berechnet, deren Excentricität 1,80 war. Da aber die Dauer der Erscheinung nur durch zwei Beobachter allein bestimmt worden ist, von denen der eine 6—7 Sec., der andere 10—12 Sec. angab, so räumt selbst Petit ein, dass man dieser Bahnbestimmung keine grosse Bedeutung beilegen kann. Dasselbe kann man von der ebenfalls hyperbolischen Bahn sagen, welche Tissot für das (soviel man weiss nicht detonirende) Meteor berechnet hat, das in Frankreich, Deutschland, in der Schweiz und in Nord-Italien am Abende des 5. Septembers 1868 beobachtet worden ist und welches sich von Belgrad bis in die Mitte Frankreichs fortbewegte. Tissot berechnete eine Excentricität von 2,59: die Dauer der Erscheinung scheint aber nur aus einer einzigen Beobachtung hergeleitet zu sein, was sicherlich zu wenig genügend ist <sup>188)</sup>).

Drei ähnliche Fälle einer hyperbolischen Bahn wurden von Prof. Newton bei drei in Amerika beobachteten Meteoren untersucht und berechnet. Für das eine detonirende und am 2. August 1860 über eine grosse Länderstrecke der Vereinigten Staaten zwischen Pittsburg und New-Orleans und von Charleston bis St. Louis gesehene Meteor sind die Schätzungen der Dauer, deren Anzahl 15 beträgt, nicht sehr übereinstimmend; daher kann die von Prof. Newton berechnete hyperbolische Geschwindigkeit zweifelhaft sein <sup>189)</sup>. Von einem andern am 6. August desselben Jahres zwischen Pittsburg und Newhaven beobachteten Meteore konnte man die Dauer mit grösserer Genauigkeit bestimmen; die Geschwindigkeit ergab sich ebenfalls als hyperbolisch. Prof. Newton glaubt, dass in diesem Falle eine elliptische Bahn möglich, aber nicht wahrscheinlich sei <sup>190)</sup>. Für ein drittes am 15. November 1859 mit furchtbarer Detonation in dem Staate New-Jersey herabgefallenes Meteor war die Schnelligkeit der Bewegung so ungeheuer gross, dass Prof. Newton kein Bedenken trug zu erklären, dass dieser Körper kein Glied unseres Sonnensystemes gewesen sei, sondern den Sternenräumen angehöre <sup>191)</sup>.

Die vorstehenden Beobachtungen stimmen alle, wenn auch mit verschiedenem Gewichte, darin überein, festzustellen, dass

<sup>188)</sup> Comptes Rendus de l'Acad. des sc. de Paris. t. LXIX.

<sup>189)</sup> American Journal of Science May 1862 p. 342.

<sup>190)</sup> Jbid. p. 348.

<sup>191)</sup> „The result of my investigation has been to establish almost beyond a doubt the conclusion, that this body was not a member of the solar system, but came to us from the stellar regions.“ Amer. Journ. of Sc. Sept. 1860 p. 186.



die Bahn der Meteoriten um die Sonne im Allgemeinen hyperbolisch sei, und dass diese Körper in keiner Weise weder den Kometen, noch den Sternschnuppen, noch dem Planetensysteme angehören. —

117. Bevor wir die Folgerungen dieses Schlusses näher untersuchen, müssen wir noch kurz die Kenntnisse prüfen, welche die Untersuchungen über die physikalische, chemische und mineralogische Natur der Meteoriten uns über den Ursprung derselben verschafft haben.

Betrachten wir zunächst den physikalischen Habitus, so ist die Gestalt der Meteoriten die hervorragendste Erscheinung, welche sich uns dabei darbietet; sie giebt ihnen in den meisten Fällen das Ansehen von Gesteinsbruchstücken. Man kann nicht daran zweifeln, dass diese Körper vor ihrem Herabfallen Theile anderer, grösserer Körper gewesen seien. Nach Haidinger würden diese Bruchstücke durch die Explosion von Himmelskörpern entstehen, und diese selbst von denjenigen inneren Kräften veranlasst werden, welche Humboldt, speciell von der Erde redend, mit dem allgemeinen Namen der Reaction des Inneren gegen die Oberfläche bezeichnete. Auch wenn die Benennung Bruchstücke nicht durch die Gestalt des Meteorkörpers gerechtfertigt ist, (wie man z. B. von dem grossen Steine von Knyahinya und von vielen Meteoreisenmassen sagen kann), so kann man doch mit Haidinger denselben Ursprung festhalten, wenn man annimmt, dass dieser Körper im Inneren anderer Massen eingeschlossen wäre, wie es bei den Gesteinen vorkommt, welche die Conglomerate bilden. Indem das Conglomerat zerbricht, oder indem das Bindemittel durch irgend welche Ursache zerbröckelt, können freie und isolirte Massen von nicht fragmentarischer Gestalt zurückbleiben, wenn auch nur als Resultate eines Zerbrechens. Ist der Meteorit ein vielfacher, so tritt er schon auf diese Weise getheilt in die Atmosphäre ein. Hierin wird der Ansicht Haidinger's von Daubrée widersprochen, welcher dagegen annehmen wollte, dass die Zertheilung der Meteoriten in dem Augenblicke der Detonation erfolgt. Die Thatsache aber, dass die Fragmente auf allen ihren Flächen mit der Schicht der Oberflächen-Schmelzung bedeckt sind, scheint zu Gunsten der Ansicht von Haidinger zu sprechen. Diese Schmelzung erfordert in der That eine sehr hohe Wärme, welche sicherlich nicht durch die mässige Geschwindigkeit erzeugt worden sein kann, mit welcher die Aërolithen nach ihrem Zerplatzen auf die Erde zu fallen pflegen. Nur in den seltensten Fällen kann man annehmen, dass die Zertheilung in der Atmosphäre stattgefunden habe: so ist es z. B. der Fall gewesen bei dem Meteoriten, welcher zu Quenggouk



in Pegu am 27. December 1857 herabgefallen ist. Die drei Fragmente desselben wurden in grossen Entfernungen von einander aufgefunden und passten dessenungeachtet so genau an einander, dass sie einen einzigen Meteoriten bildeten. Die Bruchflächen aber waren nicht mit der schwarzen Schmelzrinde bedeckt <sup>192)</sup>.

Die Hypothese, dass ein Himmelskörper unter der Einwirkung innerer, plötzlich in ihm entwickelter, Kräfte zerplatzen könne, ist sicherlich nicht absurd; aber es bestehen gegen sie Argumente von grossem Gewichte. Die ersten Anwendungen, welche Olbers zur Erklärung des Ursprunges der kleinen Planeten, und Lagrange, um den Ursprung der Kometen zu erklären, von dieser Hypothese machten, haben unter den Astronomen wenig Beifall gefunden, und keine Thatsache ist später dazugekommen, um sie zu bestätigen. Will man sie auf den vorliegenden Fall anwenden, so werden wir die Meteoriten als Bruchstücke eines einzigen sehr grossen Körpers, oder einer kleinen Anzahl ebenfalls sehr grosser Körper, oder einer grossen Anzahl kleinerer Körper ansehen müssen. Im ersten wie im zweiten Falle kann man fragen, wie es möglich sei, dass eine so grosse Masse in Folge der expansiven Wirkung der inneren Kräfte sich in eine unermessliche Anzahl von Stücken habe zertheilen können, deren mittleres Gewicht wenige Kilogramme beträgt. Dies ist gegen jegliches Princip der Mechanik und der Erfahrung. Es wäre, als ob eine Bombe bei dem Zerplatzen sich nicht in eine mässige Anzahl von Fragmenten zertheilte, sondern ganz und gar sich zu Staub verwandelte. In dem dritten Falle würde es stets schwierig zu erklären bleiben, wie in Körpern von kleiner Grösse diese Explosionscentra sich erzeugen könnten, da überdies von ihnen keine Spuren ihrer ursprünglichen Beschaffenheit zurückblieben, welche in einer strahlenförmigen oder geschichteten Structur der Meteorstücke sich äussern müssten. Die Hauptschwierigkeit aber gegen die Theorie der Explosionen rührt von den vielfachen Meteoriten her. Wenn der ursprüngliche Körper (oder die ursprünglichen Körper) sehr gross war, so haben bei dem Zerplatzen seine Stücke sich nach allen möglichen Richtungen hin zerstreuen müssen; es ist äusserst unwahrscheinlich, dass sie sich zu zwei, drei u. s. w., zu hundert oder zu tausend Stücken vergesellschaftet haben können, um solche Systeme zu bilden, wie die Meteoriten von l'Aigle, Stannern und Pultusk. Wenn dagegen der primitive Körper kleiner war, und die Theile, in welche er sich zertheilt hat, ein einziges System gebildet haben, so müssten die Bruchstücke,

<sup>192)</sup> Buchner: Die Meteoriten etc. pag. 97.



welche von einem und demselben Meteore herabfallen, mit ihren Bruchflächen zusammen passen können, und es müsste möglich sein, dass man in vielen Fällen die primitive einheitliche Masse, wenigstens zum Theil, wieder aus ihnen zusammensetzen könne.

118. Ein kosmischer Körper kann aber nicht nur in Folge einer Explosion in kleine Stückchen aufgelöst werden, sondern auch durch den Einfluss der Verwitterung, wenn wir das Wort „Verwitterung“ in einem sehr weiten Sinne nehmen. Auf der Erde ist diese Einwirkung vor Allem da zu bemerken, wo hohe Berggipfel, welche aus leicht zu zersetzenden und zerbröckelnden Gesteinen bestehen, über sehr steilen Abhängen emporragen. Man sieht alsdann ungeheure Trümmer des zerstörten Gipfels sich über die Abhänge des Berges hin ausbreiten und den Anblick ungeheurer Massen von Detritus gewähren. Die diesen Detritus zusammensetzenden Theile sind im Allgemeinen scharfkantig, wie die Meteoriten: nur in dem Grunde der Thäler hat die Einwirkung der fliessenden Gewässer mehr oder weniger ihre Kanten abgeschliffen. Grossartige Schauspiele dieser Art kann man in vielen Theilen unserer Alpen beobachten. Alles dies ist das Werk einer langsamen, von dem Wechsel der Temperatur und der Feuchtigkeit verursachten, Arbeit, welche nicht nur die Oberfläche des Gesteines langsam zernagt, indem sie fortwährend Sand-Atome von ihm lostrennt, sondern auch in das Innere der Masse eindringt, indem sie dieselbe mit unglaublicher Kraft zerspaltet. Auf der Erde äussern sich die Wirkungen der Verwitterung nur an der Oberfläche, zunächst weil derselbe Detritus von den Gewässern bis zu den Ebenen und zu dem Meere geführt wird, um dort Schichten zu bilden, welche die darunter befindlichen Massen bedecken und gegen die Wirkungen der Verwitterung beschützen; sodann aber auch, weil die Einwirkung der Atmosphäre, wenn auch unwiderstehlich und fortdauernd, doch nur einen geringen Grad von Intensität besitzt.

Stellen wir uns aber auf einen Kometen versetzt vor und nehmen wir an, dass eine leicht zerstörbare Gesteinsmasse im Centrum desselben einen kleinen Kern bilde. Die Veränderungen der Temperatur und der Feuchtigkeit <sup>193)</sup>, die mechanischen und chemischen Einwirkungen, welche bei einem solchen Körper stattfinden müssen, sind ebenso schwierig sich vorzustellen, als zu beschreiben. Nach dem zu urtheilen, was wir aus so grosser Entfernung sehen können, ist es wohl gestattet zu vermuthen, dass die irdischen meteorologischen Phaeno-

<sup>193)</sup> Es versteht sich von selbst, dass das Wort Feuchtigkeit hier nicht als nothwendig mit der Vorstellung von Wasser verbunden betrachtet werden muss.



mene nur ein sehr schwaches Abbild der Revolutionen sind, welche den Durchgang gewisser Kometen durch das Perihel begleiten.

Die Wirksamkeit der Verwitterung wird ohne Zweifel von derjenigen, welche wir auf der Erde beobachten, sehr verschieden sein: sie wird bei den Kometenkörpern sicherlich viel intensiver sein, bei welchen die Atmosphäre einen so wesentlichen und vielleicht auch an Masse bedeutenden Theil bildet. In Folge dieser Einwirkung werden sich nicht nur die Conglomerate, welche von ungefähr mit einander durch ein wenig widerstehendes Bindemittel verbunden sind, lostrennen, sondern auch die compacte Masse des Kernes selbst wird nach inneren Linien und Flächen des geringeren Widerstandes zerbersten <sup>194</sup>). Zu gleicher Zeit wird die Kleinheit der festen Masse den vom Kerne losgetrennten Stücken gestatten, in Wirbeln und aufsteigenden Strömen, von denen die Kometen so schöne Beispiele liefern, sich von innen aus emporzuheben und ausserhalb der Attractionssphäre des Kernes zu gelangen, um sich für immer von ihm zu trennen. Dieser hypothetische Complex von Erscheinungen entspricht genau dem, was man bei den Kometen von körnerartiger Structur bemerkt, von denen in dem vorigen Capitel die Rede gewesen ist. Da wir allen Grund haben zu vermuthen, dass die Sternschnuppen fest seien und dass sie von der Auflösung der Kometen herkommen, so können uns die obigen Annahmen eine (ohne Zweifel sehr unvollständige und unvollkommene) Vorstellung von der Art und Weise geben, wie die Zertheilung der Kometen in eine grosse Anzahl von kleinen Meteorkörperchen erfolgt.

Wenden wir uns jetzt zu den eigentlich sogenannten Meteoriten, so wird ihr fragmentarisches Ansehen, nach dem oben Gesagten, keinen Einwurf gegen die Annahme ihrer Identität mit den Sternschnuppen liefern, aber auch keinesweges einen Beweis für diese Identität. Sicherlich scheinen keine von den Himmelskörpern mehr, als die Kometen, geeignet, um in grossem Massstabe alle die Wirkungen der Verwitterung

---

<sup>194</sup>) Von solchen Linien und Flächen, längs deren die Trennung der meteorischen Masse leichter, als nach anderen, von Statten geht, hat man Beispiele bei denjenigen Meteoriten, welche ein geädertes Aussehen zeigen. So z. B. bei dem zu Charsonville bei Orléans am 23. November 1810 niedergefallenen Meteoriten, von welchem sich ein Durchschnitt mit der betreffenden Beschreibung in Schreiberns, „Beiträge zur Geschichte und Kenntniss der meteorischen Stein- und Eisenmassen“ (pag. 54, 55 und Tafel VIII.) vorfindet. Noch interessanter sind in dieser Beziehung die von Haidinger veröffentlichten Durchschnitte des Meteoriten von Slavetitz (22. Mai 1868), wo die Trennungsflächen derart zahlreich sind, dass sie dem Beschauer die Möglichkeit einer Zersprengung in eine sehr grosse Anzahl von Fragmenten gewähren. (Sitzungsberichte der Wiener Akad. Bd. LVIII. S. 943 ff.)



hervorzubringen, indem sich in ihnen alle Bedingungen eines sehr grossen Temperaturwechsels und riesiger atmosphärischer Revolutionen vereint finden. Dies darf uns aber nicht verhindern, die Möglichkeit anzuerkennen, dass ebenso offenkundige Einwirkungen dieser Thätigkeit sich auch bei Himmelskörpern von anderer Beschaffenheit äussern können, und dass gerade von solchen Himmelskörpern die fragmentarischen Massen der Meteoriten herkommen. —

119. Auch die Betrachtung der chemischen und mineralogischen Eigenschaften der Meteoriten kann etwas Licht über die hier zu untersuchende Frage verbreiten; ich will hierin den von dem amerikanischen Professor Lawrence Smith entwickelten Ansichten folgen<sup>195)</sup>. Man bemerkt zunächst bei allen Meteoriten (vielleicht mit drei oder vier nicht ganz zuverlässigen Ausnahmen) die constante Gegenwart von Eisen in verschiedenen Legirungen mit Nickel und Kobalt. Die Existenz des Eisens in gediegen metallischem Zustande ist ein positives Anzeichen des Fehlens oder wenigstens des geringen Vorkommens von Sauerstoff (oder des Wassers) an denjenigen Orten, wo sich die Meteoriten, häufig unter der Einwirkung sehr hoher Temperaturen, bilden<sup>196)</sup>. Ein anderes mineralogisches sehr charakteristisches Merkmal ist die grosse Aehnlichkeit des steinigen Theiles der Meteoriten mit gewissen, aus erloschenen oder thätigen Vulkanen ausgeworfenen, Felsarten. Der Parallelismus in der Zusammensetzung der Laven und der meteorischen Gesteine ist von Rammelsberg untersucht worden, welcher zeigte, dass der Meteorit von Juvenas fast genau dieselbe Zusammensetzung habe, als die isländische Lava von Thiora, indem beide aus Augit und Anorthit und fast in den-

<sup>195)</sup> American Journal of Science. May 1855.

<sup>196)</sup> Viele, die Zusammensetzung der Meteoriten betreffende, Erscheinungen deuten darauf hin, dass ihre Temperatur zu anderen Zeiten, wenn nicht höher, so doch nahe ihrem Schmelzpunkte habe sein müssen. „Another physical fact, worthy of being noticed here, is the manner in which the metallic iron and stony parts are often interlaced and mixed, as in the Pallas and Atacama irons, where nickeliferous iron and olivine in nearly equal portions are intimately mixed, so that when the olivine is detached, the iron resembles a very coarse sponge. This is an additional fact in proof of the great heat to which the meteorites must have been submitted, for with our present knowledge of physical laws there is no other way in which we can conceive that such a mixture of iron and olivine could have been produced.“ (Lawrence Smith Am. Journ. of Science May 1855 p. 324.) Diese Worte des amerikanischen Mineralogen können dazu dienen, die Anrufung des magnus Apollo, wenn nicht zu rechtfertigen, doch wenigstens zu entschuldigen, welche man in §. 128 der „Note e Riflessioni sulla teoria astronomica delle stelle cadenti“ bei Besprechung des Pallaseisens vorfindet und von welcher pag. 506 des LVIII. Bandes der Sitzungsberichte der k. k. Akad. der Wiss. zu Wien gesprochen wird.



selben Verhältnissen bestehen, während bei den Meteoriten von Château-Renard und von Nordhausen der Anorthit durch Labrador, bei denen von Blansko, Chantonnay und Utrecht durch Oligoklas ersetzt ist. Diese letzteren ähneln den Laven des Hekla, des Stromboli und den neueren Laven des Aetna <sup>197)</sup>.

Obgleich die Menge des Eisens in den verschiedenen Klassen der Meteoriten so sehr verschieden ist, so bieten doch alle diese Körper eine bewundernswerthe Aehnlichkeit in chemischer und in mineralogischer Beziehung dar: und die Merkmale, welche diese Aehnlichkeit bestimmen, sind gerade diejenigen, welche sie von jedem irdischen Körper unterscheiden. In den metallischen Massen der Meteoreisen findet man häufig steinige Partikelchen eingeschlossen; diese enthalten aber keine dieser Art von Meteoriten eigenthümlichen Mineralien, sondern gerade dieselben, welche in den gewöhnlichen Meteorsteinen in grösserer Menge vorkommen. Diese enthalten ihrerseits fast immer metallische Partikelchen, welche aus demselben Metalle oder aus den identischen Legirungen bestehen, welche in den metallischen Meteoriten vorkommen. Von dem Meteoreisen bis zu den fast gar kein Eisen enthaltenden Meteorsteinen kann man in einer fast continuirlichen Abstufung gelangen, wobei die zusammensetzenden Elemente nur in den verschiedenen Verhältnissen variiren, in welchen sie bei der Zusammensetzung der verschiedenen Massen vorkommen. Wenn irgend ein Planet, wie die Erde, sich in kleine Fragmente zertheilte, so würden diese eine viel grössere Verschiedenheit der chemischen und mineralogischen Zusammensetzung zeigen, als wie man sie bei den Meteormassen hat auffinden können. Lawrence Smith trägt kein Bedenken zu versichern, dass die Aehnlichkeit der Zusammensetzung bei den Meteoriten eben so gross ist, als man sie bei den von demselben Berge herstammenden Mineralien nur erwarten könnte, und schliesst daraus, dass alle ihren Ursprung in dem Monde haben <sup>198)</sup>. Obgleich es für die Astronomen un-

<sup>197)</sup> Lawrence Smith l. c. p. 324.

<sup>198)</sup> Damit wir uns nicht noch weiter mit der Hypothese des lunaren Ursprunges der Meteoriten zu beschäftigen brauchen, wollen wir bemerken, dass die Richtungen und die Geschwindigkeiten einiger Meteoriten die Annahme, dass sie aus dem Monde zu uns kommen, ganz einfach unmöglich machen. So gelangte z. B. das in Holland am 4. März 1863 niedergefallene und von Prof. Heis beschriebene Meteor (s. oben §. 116) in einer von der nördlichen wenig verschiedenen Richtung unter einem Winkel von 22° gegen den Horizont zur Erde (wenn es sich um den lunaren Ursprung handelt, muss man die beobachtete Richtung der relativen Bewegung, nicht die Richtung der absoluten Bewegung im Raume in Betracht ziehen), während bei dieser Bewegung der Mond (von welchem die Feuerkugel 1½ Stunde vorher hätte ausgehen müssen) von dieser Richtung um ungefähr



möglich ist, diese letzte Ansicht anzunehmen, so kann man doch nicht leugnen, dass die Aehnlichkeit der Zusammensetzung dieser Körper einen gemeinsamen Ursprung derselben sehr wahrscheinlich macht, sei es dass sie von einem und demselben Himmelskörper, oder von einer und derselben Klasse von Himmelskörpern herstammen. —

120. Fasst man die Resultate der bisher entwickelten Betrachtungen zusammen, so haben wir folgende Annahmen als nicht unwahrscheinlich, und deshalb weiterer Prüfung würdig, erkannt: 1) dass die Meteoriten aus den Himmelsräumen zu uns in stark hyperbolischen Bahnen gelangen und dass sie deshalb Körper sind, deren Ursprung und Species von denen der Kometen verschieden sind; — 2) dass die Meteoriten Fragmente eines und desselben Himmelskörpers sind, oder mehrerer Himmelskörper, welche derselben Klasse angehören. Es ist nun wichtig zu untersuchen, welche Folgerungen sich aus diesen Annahmen ergeben, und zuzusehen, ob sie mit einander vereinbar sind.

Nach der berühmten Hypothese, welche Laplace zur Erklärung der Bildung des Planetensystemes aufstellte, geben die den primären und secundären Planeten gemeinsamen Merkmale zuerst eine Grundlage für wahrscheinliche Vermuthungen über den Entwicklungsgang der Bildung des Sonnensystemes, dann auch geben sie uns ein sehr einfaches Hülfsmittel zu erkennen, welche Himmelskörper dem Systeme in der Epoche seiner Bildung bereits angehörten und welche von ihnen dieser Bildung fern waren. Durch Vergleichung der Eigenthümlichkeiten der Planetenbahnen mit denen der Bahnen der Kometen gelangte Laplace zu dem Ausspruche, dass die Kometen ihren Ursprung ausserhalb unseres Systemes haben. Er betrachtet sie als kleine Nebelmassen, die in den Sternsystemen umherirren und aus der Himmelsmaterie gebildet sind, welche nach den denkwürdigen Betrachtungen Herschel's Anfangs in allen Theilen des Weltalls zerstreut war<sup>199</sup>). Diese so einfache und natürliche An-

95° des grössten Kreises entfernt abstand. So hat auch das in Amerika am 15. November 1859 unter grosser Detonation im Staate New-Jersey niedergefallene Meteor nicht aus den Mondvulcanen zu uns herabgeschleudert sein können, wie Prof. Newton richtig bemerkt (*Americ. Journ. of Sc.* Sept. 1860 p. 192); denn der Mond befand sich zu dem für diese Eruption anzunehmenden Zeitpunkte 120° von demjenigen Punkte entfernt, von welchem man das Meteor sich niedersenken gesehen hatte. Es ist sicherlich nur ein Zufall, dass die Feuerkugel von Pultusk auf die Erde in einer, von der des Mondes, wenig verschiedenen Richtung herabkam: der Winkel zwischen den beiden Richtungen betrug im Augenblicke des Niederfallens nur 16° und hat sich in den beiden Stunden, welche die Feuerkugel ungefähr gebrauchte, um von der Nähe des Mondes bis auf die Erde zu gelangen, nur wenig verändern können.

<sup>199</sup>) Laplace, *Exposition du système du monde* 6. édition, 1835.



nahme, welche die Gestalt der Kometenbahnen und ihre zufällige Vertheilung im Raume erklärt, ist auch von mir bei früheren Untersuchungen angenommen und als Grundlage für einige Betrachtungen über den möglichen Ursprung der Sternschnuppen hingestellt worden.

Nimmt man nun für die Meteoriten die in §. 116 angegebenen Folgerungen an, so würden wir zwei Klassen von Körpern haben, deren Ursprung wir ausserhalb des Sonnensystemes setzen könnten: die einen kommen zu uns in Bahnen, die von der Parabel stets wenig abweichen, dies sind die Kometen und mit ihnen die Sternschnuppen; die anderen scheinen dagegen eine Vorliebe für Bahnen von stark ausgeprägter hyperbolischer Gestalt zu besitzen, — dies sind die Meteoriten. Worin liegt nun der Grund für einen so in die Augen fallenden Unterschied? Wir werden ihn vielleicht erfahren, wenn wir die Art und Weise untersucht haben werden, wie solche, bei ihrem Ursprunge dem Sternenraume angehörenden, Körper in das Innere des Sonnensystemes haben eindringen können. —

121. Betrachten wir einen Körper A von beliebiger Beschaffenheit, welcher sich mit eigener Bewegung unter den Fixsternen fortbewegt und einen Theil ihres Systemes bildet; nehmen wir ferner an, dass dieser Körper, angetrieben durch seine vorhergehende Geschwindigkeit, in diejenigen Theile eindringt, wo die Einwirkung der Sonne die der anderen benachbarten Sterne weit überragt. Dies wird sich in sehr grossen Entfernungen von der Sonne ereignen können, wo die jährliche Parallaxe wenige Secunden beträgt. Die relative Bewegung wird in einem Kegelschnitte erfolgen. Die Gestalt und Lage dieser Bahn wird von der Geschwindigkeit und der Bewegungsrichtung des Körpers A abhängen. In den meisten Fällen wird diese Bahn offenbar so breit sein, dass der Körper A nicht in die Grenzen des Sonnensystemes wird eindringen und uns auch deshalb nicht sichtbar werden können. Unter allen möglichen Combinationen der Geschwindigkeiten und Richtungen giebt es aber zwei, welche den Körper A in unser Sichtbarkeitsgebiet bringen können. Die eine Combination ist die, wenn die Richtung seiner Bewegung fast genau nach der Sonne zu hinzielt. In diesem Falle wird der Körper A (falls seine Anfangsgeschwindigkeit in Bezug auf die Sonne nicht ausserordentlich klein ist) eine Hyperbel beschreiben, welche wenig von der geraden Linie abweicht, und die einzige Wirkung, welche der grosse Sonnenkörper in der Bewegung des Körpers A hervorbringen kann, wird in der geringen Aenderung der Richtung dieser fast geradlinigen Bewegung bestehen. Ein solches Ereigniss muss jedoch äusserst selten



sein wegen der kleinen Dimensionen der Kugel, innerhalb deren der Körper A uns sichtbar werden kann, im Vergleich zu der Entfernung, von welcher der Körper A nach unserer Annahme zu uns gelangt: hierdurch wird es sehr erschwert, dass dieser Körper bei einem Falle zur Sonne durch die erwähnte Sphäre hindurchgeht.

Die andere Combination, welche den Körper A in unseren Gesichtskreis führen kann, erfolgt, wenn die relative Bewegung dieses Körpers und der Sonne fast null ist, wenn also beide Körper in dem Himmelsraume zwei nahezu parallele Linien mit einer fast gleichen Geschwindigkeit durchlaufen. In diesem Falle wird der Körper auf die Sonne fast direct durch die alleinige Wirkung der Anziehung derselben herabfallen: der von ihm beschriebene Kegelschnitt wird von der Parabel wenig abweichen, und es wird sich ereignen können, dass der Körper A soweit zur Sonne hinabsteigt, dass er für uns irgendwie sichtbar wird. Diese Combination muss aber sehr selten sein, da unter allen möglichen Geschwindigkeiten der in den Sternenträumen umherschweifenden Körper nur wenige sich befinden werden, welche der Geschwindigkeit der Sonne fast genau gleich und parallel sind. Und schon bei einer ganz beiläufigen Betrachtung der ganzen Sachlage dürfte uns diese zweite Combination weniger wahrscheinlich, als die erste erscheinen: denn dieselbe enthält zwei Bedingungen, nämlich die Geschwindigkeit und die anfängliche Richtung des Körpers A, während die erstere Combination einzig und allein erheischt, dass die Richtung zwischen gewissen Grenzen enthalten sei.

Laplace hat durch Rechnung die relative Wahrscheinlichkeit untersucht, welche man einer oder der andern der beiden obigen Combinationen beimessen kann und fand ein, dem so eben ausgesprochenen völlig entgegengesetztes, Resultat. „On conçoit,“ sagt er, indem er seine Theorie speciell auf die Kometen anwendete, „on conçoit, que pour approcher si près du Soleil, la vitesse des comètes, au moment de leur entrée dans sa sphère d'activité, doit avoir une grandeur et une direction comprises entre d'étroites limites. En déterminant par l'analyse des probabilités le rapport des chances qui donnent une hyperbole sensible aux chances qui donnent un orbe que l'on puisse confondre avec une parabole, j'ai trouvé qu'il y a six mille au moins à parier contre l'unité, qu'une nébuleuse, qui pénètre dans la sphère d'activité du Soleil de manière à pouvoir être observée, décrira, ou une ellipse très-allongée, ou une hyperbole, qui par la grandeur de son axe se confondra sensiblement avec une parabole dans la partie que l'on observe; il n'est donc pas surprenant, que jusqu'ici



l'on n'ait point reconnu des mouvements hyperboliques<sup>200</sup>).“ Dies alles stimmt sehr gut mit dem angenommenen Ursprunge der Kometen überein. Was werden wir aber nun von den Meteoriten sagen, welche nach unserer Annahme eben so wie die Kometen aus den Sternenräumen zu uns gelangen? Warum scheinen für sie die nach der Theorie so wenig wahrscheinlichen hyperbolischen Bahnen das constante Resultat der Beobachtungen zu sein? Es giebt nur drei Wege, um aus dieser Schwierigkeit herauszukommen. a) Entweder sind die Bahnen der Meteoriten nicht hyperbolisch, und irgend eine unbekannte Ursache wirkt dahin, das Resultat der Beobachtungen über ihre Geschwindigkeiten zu entstellen. b) Oder die Natur dieser Bahnen kann nicht durch die Wahrscheinlichkeitsrechnung hergeleitet werden, sondern ist von irgend einem allgemeinen, noch unbekannten Gesetze bestimmt, das auf diese und nicht auf die Kometen anwendbar ist. c) Oder die Theorie von Laplace über die Wahrscheinlichkeit der hyperbolischen Bahnen ist fehlerhaft.

Ohne für jetzt in etwas über die Möglichkeit der Annahme einer oder der anderen der beiden ersten Voraussetzungen abzuurtheilen, finde ich, dass in Wirklichkeit der Knoten durch die Hypothese c) gelöst ist. Die Theorie von Laplace über die Wahrscheinlichkeit der hyperbolischen Bahnen, welche dieser grosse Mathematiker in einer kurzen Abhandlung im Jahre 1813 entwickelt hat<sup>201</sup>), enthält einige Voraussetzungen, welche das Problem völlig entstellen und zu einem, der Wahrheit geradezu entgegengesetzten, Resultate führen. In der siebenten Note glaube ich auf evidente Weise nachgewiesen zu haben, dass, wenn ein Himmelskörper in die Attractionssphäre der Sonne unter solchen Bedingungen eintritt, dass er bis in das Innere des Sonnensystemes eindringt und uns dort sichtbar wird, es sehr wenig wahrscheinlich ist, dass er sich uns in einer von der Parabel wenig abweichenden Bahn nähert, und dass es im Gegentheil fast gewiss ist, dass seine Bahn entschieden hyperbolisch ist. —

122. Die Folgerungen aus diesem Satze sind eben so klar als wichtig. Was zunächst die Kometen betrifft, so zer-

<sup>200</sup>) Laplace in dem oben angeführten Werke. Gegenwärtig kennt man einige wenige Kometenbahnen, welche bestimmt hyperbolisch sind: indessen unterscheiden sie sich auch so wenig von der Parabel, dass nur die Anwendung sehr genauer Rechnungen auf eine grosse Anzahl von Beobachtungen es gestattet hat, ihre wahre Natur zu erkennen. Deshalb behält die Schlussfolgerung von Laplace noch denselben Sinn. Die grösste bis jetzt gefundene Excentricität gehört dem Kometen 1852 II an und erreicht nach der Berechnung von Hartwig kaum den Werth von 1,0525.

<sup>201</sup>) Sur les comètes. Connaissance des Temps pour l'année 1816 p. 213. Paris 1813.



stört dieser Satz vollständig die Hypothese von Laplace über ihren Ursprung, wonach die Kometen seien „de petites nébuleuses errantes de systèmes en systèmes solaires“, und vernichtet alle Folgerungen, welche ich in meinen früheren Arbeiten aus dieser Hypothese geglaubt habe ziehen zu können<sup>202)</sup>. Die Kometen gelangen zu uns aus den Sternenräumen, wie der etwas hyperbolische Charakter einiger ihrer Bahnen klar erweist, aber zu gleicher Zeit lässt uns die fast parabolische Gestalt, welche bei den von ihnen beschriebenen Kegelschnitten vorherrschen, erkennen, dass unter der unendlich grossen Anzahl der Körper, welche die Himmelsräume bevölkern, die Kometen eine Klasse für sich bilden, ausgezeichnet durch einen besonderen Charakter, welcher sie uns in derjenigen Bahngestalt zeigt, die für die anderen Körper, wie die Theorie beweist, die wenigst wahrscheinliche ist. Es ist nicht schwer zu erforschen, welches dieses specielle Merkmal ist, um das es sich hier handelt. Wir haben in der That schon erwähnt, dass eine fast parabolische Bahn von einem aus den Sternenräumen herkommenden Körper nur dann beschrieben werden kann, wenn die Geschwindigkeit und die Richtung seiner Eigenbewegung fast genau gleich der Geschwindigkeit und der Richtung der Eigenbewegung der Sonne sind. Hieraus ist zu schliessen, dass die Kometen unter den Sternen und den anderen nichtplanetarischen Körpern ein besonderes System bilden, dessen Glieder sämmtlich die Sonne bei ihrer Eigenbewegung durch die Himmelsräume begleiten. An diesem Systeme nimmt die Sonne ebenfalls Theil, wenn auch nicht als einziges und hauptsächliches Centrum, so doch wenigstens als eines der Centra von grösserer Masse und Anziehung, welchem die kleineren Körper des Systems, wenigstens zeitweise, als Satelliten unterthan sind. Ob, ausser der Sonne, noch andere Gestirne an diesem Systeme Theil nehmen, ist für jetzt unmöglich zu entscheiden; ein Erkennungszeichen für solche Gestirne würde eine merkliche jährliche Parallaxe in Verbindung mit einer scheinbaren Eigenbewegung sein, die null oder sehr klein ist.

Diese Thatsache von weit tragender Bedeutung, dass die Sonne mit zahlreichen anderen Körpern in dem grossen Sternensysteme ein System für sich bildet, welches sich nach seinen eigenen Gesetzen im Raume fortbewegt, ist nicht ohne Analogie. Untersucht man nämlich die scheinbaren Eigenbewegungen der Fixsterne, so kann man leicht erkennen, dass in gewissen Gegenden

---

<sup>202)</sup> S. Lettera II al P. Secchi in Tomo V del Bullettino dell'osservatorio del Collegio Romano und in den „Note e Riflessioni etc.“ die §§. 97 und folgenden.



mehr oder weniger zahlreiche Gruppen von Sternen existiren, deren Glieder, selbst bei ziemlich beträchtlicher scheinbarer Entfernung von einander sich mit fast gleicher Eigenbewegung in derselben Richtung fortbewegen. Diese Art von Stern-Strömen, welche ein neuerer englischer Schriftsteller sehr passend „star-drift“ genannt hat, kann zum Theil eine parallaktische Wirkung der Bewegung des Sonnensystemes sein: in den meisten Fällen sind sie aber eine reelle Erscheinung. Hierbei ist die Annahme unvermeidlich, dass alle diese mit gemeinsamer Bewegung begabten Körper, seit der Zeit des Ursprunges der Sternenwelt, ein System für sich gebildet haben, dessen Glieder, auch nach ihrem Eindringen in einen von anderen Körpern eingenommenen Raum, ihre gemeinsame Bewegung beibehalten haben und deshalb noch das Wahrzeichen ihres gleichen Ursprunges an sich tragen. Nach der Hypothese von W. Herschel über die Bildung der Sternenwelt vermittelt der verdichteten Nebelmaterie kann man sich diese Thatsachen leicht durch die Voraussetzung erklären, dass in jeder mit paralleler und gleicher Bewegung im Raume begabten Gruppe alle Gestirne bei ihrem Ursprunge einem und demselben Theile der Nebelmasse angehörten, dessen ursprüngliche Bewegung auch nach erfolgter Concentration zu einer mehr oder weniger grossen Anzahl von Körpern fortgesetzt werde. Ein solcher Theil der Nebelmasse würde die gemeinsame Mutter des Sonnensystemes, der Kometen und möglicherweise auch anderer Himmelskörper gewesen sein. Die Kometen sind aber nicht seit ihrem Ursprunge, wie Einige geglaubt haben, dem Sonnensysteme angehörige Körper, sondern stehen zu der Sonne in einer Beziehung der nahen Verwandtschaft oder des gemeinsamen Ursprunges, weil sie mit ihr in einem und demselben Theile der ursprünglichen Nebelmasse entstanden sind, und sie begleiten noch heute die Sonne in ihrer unbekannten kosmischen Bahn. Die Gemeinsamkeit des Ursprunges der Kometen scheint auch durch ihre am meisten in die Augen fallenden physikalischen Merkmale angedeutet zu werden, welche eine sehr grosse Gleichförmigkeit zeigen, trotzdem dass diese Gestirne aus den entgegengesetztesten Gegenden des Raumes zu uns gelangen. Wollte man die Identität der Sternschnuppen und der Meteoriten aufrecht erhalten, so könnte man die Aehnlichkeit der physikalischen und chemischen Zusammensetzung der Meteoriten leicht durch den gemeinsamen Ursprung der Kometenkörper erklären, von welchen die Meteoriten abstammen würden.

Lassen wir aber diese an sich nicht unwahrscheinlichen kosmogonetischen Betrachtungen bei Seite, so werden wir bemerken, dass, wenn die Eigenbewegung aller Kometen bei ihrem Ursprunge genau gleich und parallel der Eigenbewegung der



Sonne gewesen wäre, alle sich derselben nähernden Kometen genau nach ihrem Mittelpunkte zu in einer geraden Linie fallen würden. Die Nichtexistenz irgend eines bewahrheiteten Beispiels eines solchen centralen Falles unter den bekannten Kometen ist ein Beweis dafür, dass die Gleichheit und der Parallelismus der Eigenbewegungen nur annähernd stattfinden; dies wird aber zum Theil vielleicht von der Beschaffenheit der ursprünglichen Bewegungen abhängen, mit welchen alle diese Körper sich bewegten, als sie begannen, jeder seine einzelne Bahn im Raume, von den anderen unabhängig, zu beschreiben; zum Theil aber sicherlich von den Anziehungen anderer Gestirne oder grösserer Körper, denen nahe zu kommen die Kometen, bei der langen Dauer ihrer Existenz als isolirte und von der Sonne sehr weit entfernte Körper, oft Gelegenheit gehabt haben. Wir haben in der dritten Note gesehen, dass die Periheldistanzen für diejenigen Kometen kleiner zu sein scheinen, deren Aphelie in einer der Capella und dem Fuhrmann sehr nahe gelegenen Richtung sich befinden. Hieraus könnte man schliessen, dass die in dieser Richtung befindlichen kometarischen Massen genauer, als in andern Theilen, eine der der Sonne gleiche und parallele Bewegung beibehalten haben. Jedenfalls scheint sich hier ein neues Feld für merkwürdige und wichtige Untersuchungen zu eröffnen, für welche aber jetzt noch nicht die richtige Zeit gekommen ist. —

123. Wenden wir nun den am Schlusse des §. 121 ausgesprochenen Satz auf die Meteoriten an. Da die aus den Sternenträumen herkommenden und mit irgend welcher Geschwindigkeit und Richtung begabten Körper uns nicht leicht sichtbar werden können, wenn sie nicht eine hyperbolische Bahn um die Sonne durchlaufen, und da die Meteoriten, welche aus den Himmelsräumen zu kommen scheinen, alle stark hyperbolische Bahnen aufweisen, soweit diese bekannt sind, so wird es wahrscheinlich, dass sie, und nicht die Kometen, die Boten der Sternenwelt sind. Dennoch wird auch hier grosse Vorsicht sehr von Nöthen sein, um allzu übereilte Schlussfolgerungen zu vermeiden. Wenn wir nämlich die bisher entwickelten Vorstellungen mit denen von Lawrence Smith über die Aehnlichkeit der Zusammensetzung der Meteoriten und über die wahrscheinliche Einheit ihres Ursprunges combiniren (§§. 119), so werden wir dahin geleitet, die Frage über den Ursprung dieser Körper von einem völlig neuen und unerwarteten Gesichtspunkte aus zu betrachten.

Nehmen wir also an, dass alle Meteoriten Theile eines und desselben der Sternenwelt bereits angehörenden Körpers gewesen sein müssen. Welche Thatsache auch die Zertheilung dieses Körpers in einzelne Theile veranlasst haben



mag, so werden wir doch sagen können, dass diese Einwirkung nicht bis zu dem Grade heftig war, um die Bruchstücke nach allen Richtungen des Weltalls hin zu zerstreuen: die sehr grosse Menge von Meteoriten, welche das Sonnensystem fortwährend durchstreifen, beweist nämlich, dass diese Bruchstücke in mässigen Entfernungen von einander sich befinden, und dass sie daher die Himmelsräume, noch zu Systemen vereint und nicht nach dem Zufalle zerstreut, durcheilen<sup>203</sup>). Dies geht auch aus der Betrachtung hervor, dass die noch jetzt auf die Erde fallenden Meteoriten auf einem verhältnissmässig kleinen Raume sich zusammengedrängt finden; sie waren sich auch untereinander nahe, als sie Theile des grossen ursprünglichen Körpers bildeten: daher ist anzunehmen, dass sie auch in den dazwischen liegenden Zeiträumen die Himmelsräume auf wenig von einander verschiedenen Wegen und mit gleicher Geschwindigkeit durchwandert haben. Nach der Hypothese also, welche wir hier besprechen, müssten alle Meteoriten in die Attractionssphäre der Sonne gelangen, indem sie fast parallele Linien mit einer, für alle, gleichen Geschwindigkeit der Eigenbewegung beschreiben; bei ihrer Annäherung an die Sonne würde die Richtung ihrer Bewegung etwas abgelenkt werden, und sie selbst würden zu uns in hyperbolischen Bahnen gelangen, deren Queraxe bei allen dieselbe ist und deren dem Perihelie vorangehende Aeste alle nach derselben Richtung hin sich erstrecken. Der Meteoritenhaufen würde also in Bezug auf die Sonne zu denselben Erscheinungen Veranlassung geben, welche, wie wir gesehen haben, bei den Sternschnuppenströmen entstehen, wenn diese in die Attractionssphäre der Erde eindringen; die Eigenthümlichkeiten ihrer Bewegung um die Sonne müssten von denselben Formeln abhängen, welche wir für die dem Einflusse der Erde unterworfenen Sternschnuppen im IV. Capitel entwickelt haben. Dies sind die Folgerungen, welche

---

<sup>203</sup>) Nimmt man die gewiss nicht übertriebene Voraussetzung als Grundlage an, dass jährlich auf die Erde 100 Kilogramme Meteoriten fallen, so findet man durch eine leichte Rechnung, dass die, mit einem der halben grossen Axe der Neptunsbahn gleichen Radius beschriebene, Kugel von  $4761 \times 10^{10}$  Kilogrammen dieser Materie in jedem Augenblicke durchstrichen werde. Dies kommt dem Gewichte einer Kugel von der Dichtigkeit 3,5 und dem Radius von 1480 Meter gleich. Wenn wir bedenken, dass die Geschichte wenigstens seit 2500 Jahren Meteoritenfälle constatirt hat, und dass in dieser Zwischenzeit das Sonnensystem kraft seiner Eigenbewegung einen ungeheuren Raum zurückgelegt hat, so wird der Schluss nicht unwahrscheinlich sein, dass der hypothetische Körper, von welchem, wie man annimmt, alle Meteor Massen herkommen, von ungeheuren Dimensionen hat gewesen sein müssen, sicherlich von demselben Grade, wie die der Planeten des Sonnensystemes, und vielleicht noch von höherem Grade. Wollte man annehmen, dass die Bruchstücke das Resultat einer Explosion seien, wie wäre es möglich, sich die Zertheilung eines so grossen Körpers in so kleine Bruchstücke vorzustellen?



man erhält, wenn man die hyperbolische Gestalt der Bahnen mit der Einheit des Ursprunges der Meteoriten als Bruchstücke eines und desselben Körpers verbindet. Sie können direct vermittelt der Beobachtungen auf folgendem Wege, den ich jetzt erläutern will, geprüft werden. —

124. Bekanntlich hängt bei der Bewegung der Himmelskörper in Kegelschnitten um die Sonne die Geschwindigkeit für jeden beliebigen Augenblick nur von dem Radius vector und von der grossen Axe der Bahn ab. In Bahnen von derselben grossen Axe, wie es nach der obigen Hypothese bei allen von den Meteoriten beschriebenen Hyperbeln der Fall sein würde, hängt die Geschwindigkeit von dem Radius vector allein ab und ist in allen Bahnen für die von der Sonne gleich weit entfernten Punkte dieselbe. Nun sind die Punkte, in denen die Hyperbeln der Meteoriten die Erde treffen, alle in fast gleicher Entfernung von der Sonne gelegen, indem sie von der mittleren Entfernung nur um  $\frac{1}{60}$ , zu viel oder zu wenig, abweichen.

Hieraus folgt, dass die absolute Geschwindigkeit der Meteoriten, wenn sie die Erde treffen, für alle bis auf kleine Unterschiede eine und dieselbe sein müsste. Dies giebt uns schon ein Mittel, die Hypothese zu prüfen. Bei der Anwendung auf irgend eines der in §. 116 betrachteten Meteore findet man sehr von einander abweichende Resultate. Während nämlich für die Meteoriten von Pultusk die halbe Queraxe der Bahn von Galle zu 0,755 berechnet worden ist, war die des detonirenden Meteores vom 4. März 1863 nach Heis 0,127. Wenn man die Resultate dieser Berechnungen als sicher halten könnte, so wäre die bisher dargelegte Hypothese der Wahrheit nicht entsprechend. Wenn man aber an die unvermeidliche Unsicherheit bei der Schätzung der Geschwindigkeit der Meteore und vor Allem an den verschiedenen Grad des Widerstandes denkt, welchen die Atmosphäre ihrer Bewegung entgegensetzt, indem sie die eine mehr, die andere weniger, je nach der Richtung des Falles und nach dem Volumen des Meteores, verzögert, so kann man sich über die kurz zuvor erwähnte Nichtübereinstimmung nicht wundern und darf sie in der vorliegenden Frage nicht als entscheidend betrachten.

Es giebt aber noch andere, zuverlässigere Mittel um die Wahrheit der in Rede stehenden Hypothese auf die Probe zu stellen. Es sei S die Sonne (Fig. 29) und MS die Richtung, in welcher die Meteoriten in die Attractionssphäre der Sonne gelangen. Es lässt sich nun leicht zeigen, dass es möglich ist, für jeden Punkt E des der Sonne benachbarten Raumes zwei Hyperbeln  $H_1 V_1 K_1$ ,  $H_2 V_2 K_2$  zu zeichnen, von deren Asymptoten die eine der Richtung MS parallel ist, und deren halbe Queraxen



$V_1 C_1 = V_2 C_2$  gerade die der Geschwindigkeit, mit welcher die Meteoriten in die Attractionssphäre der Sonne eintreten, zukommenden sind. Wenn wir uns aber vorstellen, dass die Erde in E sei, und dass der Meteoritenschwarm bei seinem Falle zur Sonne den ganzen, unser System umgebenden, Raum anfüllt, so wird die Erde von zwei verschiedenen Richtungen  $EQ_1$  und  $EQ_2$  her Meteoriten erhalten können: es ist klar, dass diese Richtungen und die Richtung ES, welche von der Erde zur Sonne geht, in einer und derselben Ebene sich befinden. Für jede Lage der Erde in ihrer Bahn, also auch für jeden Augenblick des Jahres werden wir daher zwei verschiedene Richtungen, also auch zwei Radiationspunkte haben, von denen aus man Meteoritenfälle erwarten kann: die wahren Positionen dieser Radianten werden mit der Sonne in einem und demselben grössten Kreise liegen, aber nicht die scheinbaren, aus der Verbindung der absoluten Bewegung der Meteore mit der der Erde in ihrer Bahn hervorgehenden Positionen.

Ändert sich die Position der Erde in ihrer Bahn, so wird sich auch nothwendigerweise und continuirlich die Position der oben erwähnten beiden Radianten ändern, welche in periodischer Bewegung jedes Jahr dieselbe Curve am Himmel beschreiben werden. Weil ferner von den beiden Richtungen  $EQ_1$  und  $EQ_2$  die eine stets auf der einen Seite des Radius vectors ES liegt, die andere auf der anderen Seite, so wird offenbar, wenn man durch SE die Ebene der Ekliptik legt, eine der erwähnten Richtungen nördlich und die andere südlich von dieser Ebene sich befinden. Dies gilt auch für die scheinbare Position der beiden Radianten. Hieraus folgt, dass, von den beiden am Himmel von den scheinbaren Positionen dieser Radianten durchlaufenen Curven, die eine (in Bezug auf die Ekliptik) völlig auf der nördlichen Halbkugel, die andere ganz und gar auf der südlichen Halbkugel gelegen ist. Bestimmt man daher auf einer Himmelskarte die Punkte, von denen aus die Meteoriten und die detonirenden Meteore hergekommen sind, so müssen diese Punkte auf den beiden Halbkugeln zwei Curven bilden und längs dieser Curven mit ihren Positionen der Reihenfolge der Epochen des Jahres folgen, zu denen die Meteoriten und die entsprechenden Feuerkugeln herabgefallen sind. Zwei genaue Beobachtungen des Falles von Meteoriten würden hinreichen, um vermittelst einer einfachen und interessanten Construction (S. die achte Note) die Geschwindigkeit und die gemeinsame Richtung aller dieser Körper bei ihrem Eintritte in die Attractionssphäre der Sonne zu bestimmen, also auch die Richtung des grossen Gestirnes, von dem sie ihren Ursprung herleiteten.



Eine solche Construction ist nun wirklich von mir ausgeführt worden, indem ich die Beobachtungen der vor der Detonation von den Meteoriten von Knyahinya und von Pultusk beschriebenen Bahnen mit einander verband, die einzigen, von denen wir in dieser Beziehung einigermaßen glaubwürdige Angaben besitzen. Für das Meteor von Knyahinya habe ich nach den von Haidinger gesammelten Nachrichten<sup>204)</sup> angenommen, dass der die scheinbare Richtung des Falles der Feuerkugel anzeigende Punkt des Himmels folgende Coordinaten hatte: Länge  $134^{\circ}$ , Breite  $+ 41^{\circ}$ . Für das Meteor von Pultusk habe ich nach der Autorität von Prof. Galle die Position: Länge  $20^{\circ}$ , Breite  $+ 12^{\circ}$  angenommen. Ich habe nun untersucht, ob es möglich wäre, diese beiden Positionen durch die Annahme darzustellen, dass die Meteoriten von Knyahinya und von Pultusk mit einer gleichen eigenen Anfangsgeschwindigkeit aus einer und derselben Gegend des Sternenraumes zu uns gelangt seien. Das Resultat war entschieden negativ, und es blieb auch so, selbst nachdem ich auf die Bedingung verzichtet hatte, dass die eigenen Anfangsgeschwindigkeiten gleiche seien; es blieb noch ferner negativ auch bei der Annahme beträchtlicher Fehler von  $30^{\circ}$  und noch mehr für die Schätzung der bei beiden Meteoren beobachteten Richtung, und dass diese Fehler in dem möglichst ungünstigen Sinne gewirkt hätten. Die umständlicheren Einzelheiten dieser Untersuchung sind in der achten Note nachzusehen.

Es bleibt also, als rein geometrische Consequenz der bei den Meteoren von Pultusk und von Knyahinya gemachten Beobachtungen, erwiesen, dass diese beiden Körper keineswegs aus derselben Gegend des Sternenraumes haben herkommen können. Hieraus folgt als, vielleicht nicht ebenso sichere, doch aber noch sehr wahrscheinliche Consequenz, dass sie nicht Bruchstücke eines und desselben, der Sternenwelt angehörenden, Körpers sein konnten. Die Hypothese des durch ihre hyperbolischen Bahnen angezeigten Ursprunges der Meteoriten in den Sternenträumen ist also unvereinbar mit der Hypothese der durch ihre chemische und mineralogische Zusammensetzung angezeigten Einheit des Ursprunges. Man kann entweder nur die eine, oder nur die andere, annehmen. —

125. Untersuchen wir nun beide Seiten dieses Dilemmas. Wenn wir mit Lawrence Smith um jeden Preis die Einheit des Ursprunges der Meteoriten, als Fragmente eines und desselben kosmischen Körpers, beibehalten wollen, so müssen wir auf ihren stellaren Ursprung verzichten, ferner annehmen, dass die für einige Meteoriten berechneten hyperbolischen

<sup>204)</sup> Sitzungsberichte der Wiener Akad. d. Wiss. Bd. LIV. Pag. 513.



Bahnen einfach das Resultat von Beobachtungsfehlern seien, und endlich eine unter den drei anderen Hypothesen auswählen, nämlich unter denen des lunaren, oder des planetarischen, oder des kometarischen Ursprunges der Meteoriten. Die erste kommt nicht erst in Frage; die zweite, welche gegenwärtig viele Anhänger hat, widerspricht in wirklich ungereimter Weise den Beobachtungen der Geschwindigkeiten und auch der Richtungen der Meteoriten: die dritte ist nicht frei von diesem Mangel, aber die Fehler, welche sie bei den erwähnten Beobachtungen voraussetzen würde, sind nicht so ungeheuer gross, als wie bei der planetarischen Hypothese. Von den drei Ansichten bleibt also diejenige die wahrscheinlichste, welche die Meteoriten mit den Sternschnuppen identificirt.

Will man dagegen den durch die hyperbolischen Bahnen angedeuteten stellaren Ursprung der Meteoriten aufrecht erhalten, also die Idee der Einheit des Ursprunges aufgeben, so werden wir annehmen müssen, dass diese Körper aus den verschiedensten Gegenden des Sternenraumes zu uns gelangen. Die Zukunft wird lehren, ob es möglich sein wird, die Richtungen, von denen die Meteoriten herkommen, bis auf eine kleine Anzahl zu beschränken, also auch die Menge der Körper, welche durch ihr Zerspringen die Meteoriten erzeugt haben. Wie auch immer die Frage gelöst werden mag, es wird keine geringe Bewunderung erregen, Massen von so gleichförmiger Structur, dass sie Mineralien desselben Berges oder auch desselben Bergwerkes zu sein scheinen, zu uns aus so ungeheuer weit von einander entfernten Gegenden des Himmels herkommen zu sehen. Dürfte daher die Gleichförmigkeit des Weltenstoffes nicht eben so gross, oder noch grösser sein, als diejenige ist, welche die spectralanalytischen Untersuchungen zu unserem grossen Erstaunen uns haben vermuthen lassen?

Wenn in Wahrheit die Meteoriten unterschiedslos aus allen Gegenden des Sternenraumes zu uns gelangen sollten, so würde die natürliche Folge davon sein, dass dieser ganze Raum, oder wenigstens der uns und die benachbarten Sterne umgebende, von solchen kleinen fragmentarischen Massen bevölkert sein müsste. Die Trümmer der zerstörten Himmelskörper würden aber unter den noch immer existirenden Himmelskörpern in so grosser Menge zerstreut sein, dass ihre Gesamtheit eine ungeheure Masse bilden müsste, wenn sie auch wahrscheinlich kleiner wäre, als die der zu leuchtenden Centra vereinten Materie<sup>205)</sup>. —

<sup>205)</sup> Ich habe schon erwähnt, dass bei der Annahme, nach welcher



126. Ich will hier innehalten. Die Untersuchungen und Discussionen in diesem Capitel haben zu keiner bestimmten Lösung des Problemes des Ursprunges der Meteoriten geführt; dennoch werden sie vielleicht nicht ohne Nutzen sein, da sie die Analogien und die Widersprüche bei den verschiedenen Elementen dieser Frage aufgedeckt haben. Fassen wir die hierbei erhaltenen Resultate zusammen, so können wir folgende Sätze aufstellen.

I. Die Gründe, welche man gewöhnlich gegen die Identität der Sternschnuppen und der Meteoriten anführt, haben keine zwingende Kraft.

II. Die hyperbolische Geschwindigkeit, welche man bei einigen Meteoriten beobachtet hat, zerstört jegliche Wahrscheinlichkeit, welche der lunare Ursprung für sich haben kann, macht die Annahme eines planetarischen Ursprunges der Meteoriten fast unmöglich, und lässt sich auch nicht gut mit ihrem kometarischen Ursprunge vereinigen, wenn man nicht bei den Beobachtungen Fehler, die geringe Wahrscheinlichkeit für sich haben, annehmen will; sie führt nothwendig dazu, den Ursprung der Meteoriten in die Welt der Fixsterne zu versetzen.

III. Der stellare Ursprung ist mit dem kometarischen unvereinbar; denn die Kometen gehören nicht der Allgemeinheit der das Sternensystem bildenden Körper an, sondern bilden in diesem Systeme eine besondere Klasse für sich, welche mit unserer Sonne einen gemeinsamen Ursprung gehabt hat, und in welcher stark hyperbolische Bahnen nicht vorkommen können.

IV. Die Einheit der chemischen und mineralogischen Zusammensetzung der Meteoriten würde die lunare Hypothese, und auch die planetarische, mehr als jede andere annehmbar

---

jedes Jahr auf die Erde 100 Kilogramme Meteoriten herabfallen, der von der Neptunsbahn umschlossene Raum in jedem Jahre von so viel Materie durchkreuzt würde, als in einer Kugel von 1480 Meter Radius und von der Dichtigkeit 3,5 enthalten sei. Wenn wir voraussetzen, dass die Geschwindigkeit der Meteoriten im Mittel das Doppelte von der der Erde in ihrer Bahn sei, so lässt sich leicht berechnen, dass in jedem Augenblicke im Inneren des von der Neptunsbahn eingeschlossenen Raumes sich eine 3,2 mal grössere Menge von Materie, als die vorher erwähnte, befindet.

Nach Peters ist der mittlere Werth der jährlichen Parallaxe der Fixsterne erster Grösse gleich  $0'',2$ , welche einer Entfernung entspricht, die 34500 mal grösser ist, als der Radius der Neptunsbahn. Der Raum, den man als ausschliessliches Gebiet der Sonne betrachten kann, wird also eine Kugel sein, deren Radius die Hälfte der obigen Entfernung, mithin gleich 17250 Radien der Neptunsbahn sein wird. Die in dieser die Sonne umgebenden Kugel umherschweifenden Meteoriten würden, zu einem Körper vereint, eine Kugel bilden von der Dichtigkeit 3,5, deren Radius 37815 Kilometer oder 4875 deutsche Meilen beträgt. Das Volumen dieser Kugel würde also wenig grösser sein, als das des Planeten Uranus.



erscheinen lassen, wenn nicht die beobachteten Geschwindigkeiten derselben eine zu gewichtige Schwierigkeit entgegensetzten.

V. Diese selbe Einheit der Zusammensetzung ist nicht unvereinbar mit der Abstammung der Meteoriten von den Kometen, weil diese mit der Sonne einen einheitlichen Ursprung besitzen.

VI. Aus der Annahme des stellaren Ursprunges für die Meteoriten folgt direct, dass sie aus den verschiedensten Gegenden des Sternenraumes zu uns gelangen; die erwähnte Einheit der chemischen und mineralogischen Zusammensetzung kann man alsdann nur dadurch erklären, dass man für den Bau des sichtbaren Weltalls eine physische und chemische Gleichförmigkeit annimmt, gleich derjenigen, welche die Meteoriten selbst besitzen. —

---







## Erste Note.

### Ueber den Widerstand der Erdatmosphäre gegen die Bewegung der kosmischen Meteore.

Um die Lösung dieses Problemcs irgendwie zu ermöglichen, will ich annehmen, dass die meteorischen Projectile homogene Kugeln sind, und dass die Resultante der Widerstände stets an dem Schwerpunkte in einer, der Bewegung genau entgegengesetzten, Richtung angreift. Um nicht zu der Betrachtung von krummlinigen Bahnen genöthigt zu sein, will ich auch von der Erdschwere abstrahiren, deren Wirkung für die meisten Meteore völlig zu vernachlässigen ist.

Die Meteormassen treten in die Atmosphäre an der äussersten Grenze derselben ein, wo ihre Düntheit ausserordentlich gross ist, und von da können sie bis zu den Schichten von der grössten Dichtigkeit herabsteigen. Der Widerstand ist deshalb sehr veränderlich, und man wird keine genaue Vorstellung von der Bewegung dieser Körper erhalten, wenn man nicht die Veränderungen der atmosphärischen Dichtigkeit längs der durchlaufenen Bahn berücksichtigt. Es könnte also erscheinen, als ob wir gleich zu Anfang uns mit dem so schwierigen und bisher noch nicht nach Gebühr gelösten Probleme der Beschaffenheit der Atmosphäre in Bezug auf ihre Dichtigkeit zu beschäftigen hätten. Glücklicherweise aber werden wir diese Schwierigkeit mit Hülfe eines Theoremes vermeiden können, welches allgemein für alle Bewegungen der Körper in widerstehenden Mitteln gilt, wenn nur in jedem Punkte der Bahn der Widerstand für jede gegebene Geschwindigkeit der Dichtigkeit des Mittels proportional bleibt. Diese letztere Hypothese ist, wenn auch nicht bewiesen, doch wenigstens allgemein angenommen. Das Theorem lässt sich alsdann folgendermassen ausdrücken: Wenn ein von einem anfänglichen Antriebe fortgestossener und von keinen anderen Kräften bewegter Körper in geradliniger Bewegung von einem Punkte zum andern fortgeht, indem er ein widerstehendes Mittel durchstreift, dessen Dichtigkeit von einem Orte zum andern veränderlich ist, so wird die Endgeschwindigkeit der Bewegung nicht von dem Gesetze abhängen, nach welchem die Dichtigkeit des Mittels längs der Bahn sich verändert, sondern allein von der Menge der Materie, welcher der Körper längs seiner Bahn begegnet. —

Der Beweis dieses Satzes ist sehr einfach. Es sei nämlich  $x$  der in einer gegebenen Zeit durchlaufene Raum,  $dx$  ein Element der Bahn, so wird man die von einem Punkte zum andern variable Dichtigkeit durch  $F(x)$  darstellen können. Es sei ferner  $u$  die Geschwindigkeit in diesem Augenblicke und  $\varphi(u)$  die Function der Geschwindigkeit, welche den auf die Einheit der Masse bezogenen Widerstand in dem mit der Geschwindigkeit  $u$  durchlaufenen Mittel von der Dichtigkeit 1 ausdrückt; alsdann wird



der Widerstand in dem Mittel, dessen Dichtigkeit  $F(x)$  ist,  $F(x) \varphi(u)$  sein. Das Theorem der lebendigen Kräfte wird daher ergeben:

$$u \, du = - F(x) \varphi(u) \, dx.$$

Aus dieser Gleichung, in welcher die Variabeln trennbar sind, folgt:

$$\int \frac{u \, du}{\varphi(u)} = - \int F(x) \, dx,$$

wobei die Integrale zwischen dem Anfange und dem Ende der betrachteten Bahn genommen sind. Nun ist  $\int F(x) \, dx$  offenbar der Menge von Materie proportional, auf welche der bewegte Körper vom Anfange bis zum Ende seiner Bewegung trifft. Ebenso ist es klar, dass, wenn alle anderen Umstände sich gleichbleiben, die Endgeschwindigkeit des bewegten Körpers von dieser Menge abhängt, aber nicht von der Natur der Function  $F(x)$ . Hierdurch ist das obige Theorem gerechtfertigt und dadurch auch der im §. 18 ausgesprochene Satz I., welcher eine besondere Anwendung dieses Theoremes ist.

Die Schriftsteller über Ballistik pflegen anzunehmen, dass die widerstehende Kraft, welche die Bewegung der sphärischen Projectile verzögert, der Fläche  $\pi r^2$  ihres grössten Kreises und einer gewissen Function der Geschwindigkeit  $u$  proportional sei. Nennt man diese Kraft  $R$ , so wird man setzen können:  $R = \pi r^2 \Phi(u)$ . Ist nun  $p$  das specifische Gewicht des Projectiles,  $g$  die Erdschwere, so wird das Gewicht  $\frac{4}{3} \pi r^3 p$  und die

Masse  $\frac{4}{3} \frac{\pi r^3 p}{g}$  sein; hiernach wird die, auf die Einheit der Masse be-

zogene, retardirende Kraft, also die, welche wir oben mit  $\varphi(u)$  bezeichnen, sein:

$$\varphi(u) = R \frac{3g}{4\pi r^3 p} = \frac{3}{4} \frac{g}{rp} \Phi(u) \dots \dots (1)$$

Man nenne nun  $m$  das specifische Gewicht der Luft, für welches der Ausdruck  $\Phi(u)$  nach den gemachten Experimenten berechnet worden ist, und  $f(x)$  dasselbe specifische Gewicht in dem Punkte der Bahn, welcher durch den durchlaufenen Raum  $x$  bestimmt ist; alsdann ist die auf die Einheit der Masse bezogene retardirende Kraft in diesem Punkte  $\varphi(u) \frac{f(x)}{m}$ .

Die Gleichung der Bewegung wird alsdann sein:

$$u \, du = - \varphi(u) \frac{f(x)}{m} \, dx = - \frac{3}{4} \frac{g}{rp} \frac{\Phi(u)}{m} f(x) \, dx$$

und hieraus folgt:

$$\int_{u_0}^{u_1} \frac{u \, du}{\Phi(u)} = - \frac{3}{4} \frac{g}{rp} \int f(x) \, dx,$$

wobei die Integrale von dem Punkte, in welchem das Projectil in die Atmosphäre mit der Geschwindigkeit  $u_0$  eintritt, bis zu irgend einem Punkte der Bahn genommen werden, in welchem, nachdem der Raum  $x$  durchlaufen ist, die Geschwindigkeit  $= u_1$  geworden ist. Wenn nun das Projectil längs einer gegen die Verticale um den Winkel  $Z$  geneigten Linie herabsteigt, und wenn man die Krümmung der atmosphärischen Schichten vernachlässigt, so hat man offenbar  $\int f(x) \, dx = H m \sec Z$ , worin  $H$  der Druck oder genauer die Höhe derjenigen Luftsäule von dem specifischen Gewichte  $m$  ist, welche der Quecksilbersäule des Barometers in dem Punkte, wo die Geschwindigkeit  $u_1$  ist, das Gleichgewicht hält. Man hat alsdann:

$$\int_{u_0}^{u_1} \frac{u \, du}{\Phi(u)} = - \frac{3}{4} \frac{g}{rp} H \sec Z \dots \dots (2).$$



Aus dieser Formel erhält man leicht die im §. 18 unter II. angegebenen Folgerungen. Für jeden gegebenen Werth von  $u_0$  und  $u_1$  ist in der That  $H$  den Grössen  $r$ ,  $p$  und  $\cos Z$  proportional.

Nun ist die Function  $\Phi(u)$  so beschaffen, dass sie sehr schnell wächst und stets in grösserem Verhältnisse als  $u$  zunimmt. Die Schriftsteller über Ballistik haben ihr die Form gegeben  $Au + Bu^2 + Cu^3 + Du^4$  etc. Die Erfahrung zeigt, dass für kleine Geschwindigkeiten das einzig merkliche Glied das erste ist; für Geschwindigkeiten von einigen Metern in der Secunde macht sich noch das Glied  $Bu^2$  bemerklich. Bei den Versuchen der Artillerie wird das erste Glied vernachlässigt; um aber  $\Phi(u)$  darzustellen, muss man die Quadrate und die Kuben von  $u$  combiniren (Didion) oder die Quadrate und die Biquadrate (Euler, S. Robert); nach Einigen genügen die Kuben von  $u^*$ ). Die höheren Potenzen scheinen um so einflussreicher zu sein, je grösser die Geschwindigkeit ist.

Wir wollen jetzt zwei gleiche Projectile betrachten, welche parallel mit einander in die Atmosphäre mit den planetarischen Geschwindigkeiten  $u_0$  und  $u'_0$  eintreten, und dabei voraussetzen, dass  $u'_0 < u_0$  ist. Der Druck  $H$  der Luftschicht, in welche das erste Projectil herabsteigen muss, damit seine Geschwindigkeit auf  $u_1$  reducirt wird, und der Druck  $H'$  der Schicht, in welche das zweite Geschoss herabsteigen wird, damit seine Geschwindigkeit auf denselben Grad reducirt wird, werden sich aus folgenden Formeln ergeben:

$$\int_{u_0}^{u_1} \frac{u \, du}{\Phi(u)} = - \frac{3}{4} \frac{gH}{rp} \sec Z \dots \dots (3)$$

$$\int_{u'_0}^{u_1} \frac{u \, du}{\Phi(u)} = - \frac{3}{4} \frac{gH'}{rp} \sec Z \dots \dots (3').$$

Diese ergeben durch Subtraction:

$$\int_{u_0}^{u'_0} \frac{u \, du}{\Phi(u)} = - \frac{3}{4} \frac{g \sec Z}{rp} (H - H') \dots \dots (4).$$

Hieraus lernen wir, dass der Unterschied der Luftdrücke an den Orten, wo die Geschwindigkeiten der beiden Projectile auf denselben Werth reducirt sind, für die ganze Dauer der Bewegung constant ist. Wenn  $u_0$  und  $u'_0$  Geschwindigkeiten von planetarischer Natur sind, so wird das Integral des ersten Gliedes im Allgemeinen eine sehr kleine Grösse sein, wegen der grossen Werthe, welche  $\Phi(u)$  für die Geschwindigkeiten zwischen den Grenzen  $u_0$  und  $u'_0$  erreicht. Wenn man annimmt, dass die Endgeschwindigkeit  $u_1$  ein kleiner Bruchtheil der Anfangsgeschwindigkeiten ist, so werden die beiden Integrale in den Formeln (3) und (3') viel grösser als das Integral in der Formel (4) sein, und daher wird auch die Differenz  $H - H'$  nur ein kleiner Bruchtheil von  $H$  oder von  $H'$  sein. Wenn also die Meteore den grösseren Theil ihrer Geschwindigkeiten verloren haben, so ist ihre Bewegung von der Anfangsgeschwindigkeit fast unabhängig, wie im Texte angeführt ist (§. 18, Satz III).

Um numerische Resultate zu erlangen, muss man für das Gesetz des Widerstandes eine bestimmte Function annehmen. Didion hat, indem er das Kilogramm, das Meter und die Zeitsecunde als Einheiten nahm, auf ballistische Versuche von Hutton, Piobert und auf seine eigenen gestützt, folgende Formel aufgestellt:

$$R = 0,0260 \left(1 + \frac{u}{400}\right) \pi r^2 u^2 \dots \dots (5).$$

Wir können nicht wissen, ob dieses Gesetz auch auf die planetarischen

\*) Die Kuben allein scheinen bei dem Schusse oblonger Projectile zu genügen (Hélie, Siacci).



Geschwindigkeiten, welche zehn- oder hundertmal die der Artilleriegeschosse übertreffen, anwendbar sei. Da man aber nichts Besseres hat, kann man einen Versuch damit machen.

Nimmt man für  $r$  das Meter als Einheit, so wird das Gewicht des Äerolithen in Kilogrammen  $\frac{4000}{3} \pi r^3 p$  sein; also wird die auf die Einheit der Masse bezogene retardirende Kraft in dem Mittel von der Dichtigkeit  $m$ , in welchem die Versuche angestellt worden sind, sich ergeben:

$$\varphi(u) = \frac{3}{4000} \frac{g}{rp} 0,0260 \left(1 + \frac{u}{400}\right) u^2;$$

für das Mittel von der Dichtigkeit  $f(x)$  erhält man:

$$\varphi(u) \frac{f(x)}{m} = \frac{3}{4000} \frac{g}{rp} 0,0260 \left(1 + \frac{u}{400}\right) u^2 \frac{f(x)}{m}.$$

Setzt man diese Grösse gleich  $-u \frac{du}{dx}$  und integrirt man zwischen den Grenzen  $u_0$  und  $u_1$ , so erhält man:

$$\log \left(1 + \frac{400}{u_1}\right) - \log \left(1 + \frac{400}{u_0}\right) = \frac{3}{4000} \frac{gM}{rp} 0,0260 H \sec Z,$$

wobei man sich erinnern muss, dass  $\int f(x) dx = H m \sec Z$  ist.  $M$  bedeutet den Modul der gewöhnlichen Logarithmen. Setzen wir nun statt  $M$  seinen Werth 0,43429 und statt  $g$  9,805 Meter, nehmen wir endlich, anstatt den Druck  $H$  vermittelt einer Luftsäule von der Dichtigkeit  $m$  gleich derjenigen, bei welcher die Versuche angestellt wurden, auszudrücken, als Einheit das Millimeter der Quecksilbersäule des Barometers, d. h. machen wir  $H = 10,5 \mu^*$ , so findet man, wenn man alle Zahlencoefficienten zu einem reducirt:

$$\log \left(1 + \frac{400}{u_1}\right) - \log \left(1 + \frac{400}{u_0}\right) = 0,0008719 \frac{\mu \sec Z}{rp} \dots \dots (6).$$

Aus dieser Formel kann man, wenn die Anfangsgeschwindigkeit  $u_0$  und die Grössen  $Z$ ,  $r$ ,  $p$  gegeben sind, den Werth  $u_1$  berechnen, auf welchen sich die Geschwindigkeit reducirt, wenn das Projectil in die Schicht von dem Drucke  $\mu$  gelangt ist; oder umgekehrt man kann berechnen, wie gross der Druck in dem Punkte ist, wo die Geschwindigkeit des Projectiles auf den Werth  $u_0$  reducirt ist.

Um eine Anwendung hiervon zu machen, habe ich zwei Hypothesen über die Anfangsgeschwindigkeiten in Betracht gezogen, nämlich die von  $u_0 = 72000$  Meter und von  $u_0 = 16000$  Meter, welche beinahe die beiden äussersten Grenzen der Geschwindigkeit sind, mit welcher die kosmischen Meteore in den gewöhnlichen Fällen in die Atmosphäre eintreten\*\*). Nach jeder dieser beiden Hypothesen habe ich für die abnehmenden Werthe von  $u_1$  das Product  $\frac{\mu \sec Z}{rp}$  berechnet, aus welchem man für jede beliebige Annahme der

Grössen  $r$ ,  $p$ ,  $Z$  leicht die Grösse  $\mu$  herleiten kann. Hieraus ergeben sich folgende zwei Tabellen.

\*) Da man nicht genau weiss, wie gross die Dichtigkeit  $m$  ist, für welche die Didion'sche Formel gilt, habe ich für sie die gewöhnliche Dichtigkeit bei  $0^\circ$  und im Niveau des Meeres angenommen, für welche in der That nahezu dem Luftdrucke von 10,5 Meter der Druck von 1 Millimeter Quecksilber entspricht.

\*\*) Den Beweis dieses Satzes findet man im Texte selbst.



| Tab. I. $u_0 = 72000$ Met. |                                 | Tab. II. $u_0 = 16000$ Met. |                                 |
|----------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| $u_1$                      | $\frac{\mu \text{ sec } Z}{rp}$ | $u_1$                       | $\frac{\mu \text{ sec } Z}{rp}$ |
| 72000 Met.                 | 0,00 Millim.                    | 16000 Met.                  | 0,00 Millim.                    |
| 68000 "                    | 0,13 "                          | 15000 "                     | 0,81 "                          |
| 64000 "                    | 0,34 "                          | 14000 "                     | 1,73 "                          |
| 60000 "                    | 0,55 "                          | 13000 "                     | 2,80 "                          |
| 56000 "                    | 0,79 "                          | 12000 "                     | 4,04 "                          |
| 52000 "                    | 1,06 "                          | 11000 "                     | 5,48 "                          |
| 48000 "                    | 1,37 "                          | 10000 "                     | 7,24 "                          |
| 44000 "                    | 1,75 "                          | 9000 "                      | 9,47 "                          |
| 40000 "                    | 2,19 "                          | 8000 "                      | 12,00 "                         |
| 36000 "                    | 2,74 "                          | 7000 "                      | 15,38 "                         |
| 32000 "                    | 3,43 "                          | 6000 "                      | 19,85 "                         |
| 28000 "                    | 4,38 "                          | 5000 "                      | 26,03 "                         |
| 24000 "                    | 5,47 "                          | 4000 "                      | 35,18 "                         |
| 20000 "                    | 7,10 "                          | 3000 "                      | 50,04 "                         |
| 16000 "                    | 9,54 "                          | 2000 "                      | 78,51 "                         |
| 12000 "                    | 13,57 "                         | 1000 "                      | 155,29 "                        |
| 8000 "                     | 21,54 "                         | 500 "                       | 280,47 "                        |
| 4000 "                     | 44,72 "                         |                             |                                 |
| 2000 "                     | 88,05 "                         |                             |                                 |
| 1000 "                     | 164,84 "                        |                             |                                 |
| 500 "                      | 290,01 "                        |                             |                                 |

Aus diesen Zahlenangaben wurden die Tabellen von §. 19 hergeleitet, indem  $r = 0,02$  Met.,  $p = 3,5$  und  $Z = 0^\circ$  gesetzt wurde. Der Graf di S. Robert\*) fand bei seiner Untersuchung der von verschiedenen Autoritäten über sphärische Geschosse angestellten ballistischen Versuche, dass diese sich besser durch folgende Formeln, als durch die Didion'sche, darstellen lassen, nämlich durch  $R = 0,03874 \left(1 + \left(\frac{u}{696}\right)^2\right) \pi r^2 u^2$ ,

wobei  $R$  in Kilogrammen,  $r$  und  $u$  in Metern ausgedrückt und die Sekunde als Zeiteinheit genommen ist. Die Coefficienten sind in Bezug auf die Dichtigkeit der Luft  $= 0,0012083$  berechnet, die des Wassers  $= 1$  gesetzt. Wenn man die vorige Rechnung nach dieser Formel wiederholt, so findet man:

$$\log \left(1 + \left(\frac{696}{u_1}\right)^2\right) - \log \left(1 + \left(\frac{696}{u_0}\right)^2\right) = 0,00278 \frac{\mu \text{ sec } Z}{rp}$$

Nach dieser letzten Formel wurden die folgenden den beiden früheren völlig analogen Tabellen berechnet.

\*) Del moto dei progetti nei mezzi resistenti. Memorie dell' Acc. di Torino Serie II. tom. XVI.



| Tabelle I. $u_0 = 72000$ Met. |                                 | Tabelle II. $u_0 = 16000$ Met. |                                 |
|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| $u_1$                         | $\frac{\mu \text{ sec } Z}{rp}$ | $u_1$                          | $\frac{\mu \text{ sec } Z}{rp}$ |
| 72000 Met.                    | 0,000 Millim.                   | 16000 Met.                     | 0,000 Millim.                   |
| 68000 "                       | 0,002 "                         | 15000 "                        | 0,041 "                         |
| 64000 "                       | 0,004 "                         | 14000 "                        | 0,091 "                         |
| 60000 "                       | 0,007 "                         | 13000 "                        | 0,153 "                         |
| 56000 "                       | 0,010 "                         | 12000 "                        | 0,231 "                         |
| 52000 "                       | 0,013 "                         | 11000 "                        | 0,330 "                         |
| 48000 "                       | 0,018 "                         | 10000 "                        | 0,460 "                         |
| 44000 "                       | 0,024 "                         | 9000 "                         | 0,637 "                         |
| 40000 "                       | 0,033 "                         | 8000 "                         | 0,886 "                         |
| 36000 "                       | 0,044 "                         | 7000 "                         | 1,245 "                         |
| 32000 "                       | 0,059 "                         | 6000 "                         | 1,829 "                         |
| 28000 "                       | 0,082 "                         | 5000 "                         | 2,703 "                         |
| 24000 "                       | 0,117 "                         | 4000 "                         | 4,364 "                         |
| 20000 "                       | 0,174 "                         | 3000 "                         | 7,894 "                         |
| 16000 "                       | 0,280 "                         | 2000 "                         | 17,561 "                        |
| 12000 "                       | 0,511 "                         | 1000 "                         | 61,408 "                        |
| 8000 "                        | 1,166 "                         | 500 "                          | 165,988 "                       |
| 4000 "                        | 4,644 "                         |                                |                                 |
| 2000 "                        | 17,842 "                        |                                |                                 |
| 1000 "                        | 61,688 "                        |                                |                                 |
| 500 "                         | 166,268 "                       |                                |                                 |

Aus diesen Zahlen wurden die Tabellen des §. 21 berechnet, indem  $r = 0,02$  Met.,  $p = 3,5$  und  $Z = 0^\circ$  gesetzt wurde. In dem Texte findet man auch die Betrachtungen, zu welchen die Vergleichung der Resultate der Didion'schen Formel und der von S. Robert geführt haben.

## Zweite Note.

Ueber die auf der Oberfläche der Aërolithen durch die Zusammendrückung der Luft entwickelte Wärme.

Zur Erleichterung der Rechnung wollen wir annehmen, dass der Aërolith sphärisch und dass auf der ganzen vorderen Halbkugel der Druck gleichförmig sei \*).

Es lässt sich leicht nachweisen, dass in diesem Falle die Resultante aller Drücke auf die Oberfläche dieselbe sein wird, als wenn die vordere Oberfläche eben und gleich dem grössten Kreise der Kugel wäre, und als

\*) Diese zweite Annahme kann nicht weit von der Wahrheit entfernt sein und uns jedenfalls für den Grad der Erhitzung der Luft, welche mit dem Projectil in Berührung kommt, zu einem mittleren Resultat hinführen.



wenn sie gegen jedes ihrer Elemente mit einer ebenso grossen Kraft gedrückt würde, als ein gleich grosses Element der Kugel-Oberfläche. Wir werden also die Intensität der Compression so berechnen können, als ob die vordere Oberfläche eben wäre.

Die Function R, welche den Widerstand ausdrückt, können wir unter obiger Voraussetzung auf die Form  $R = \pi r^2 U$  bringen, wobei wir mit U diejenige Function der Geschwindigkeit bezeichnen, welche in Kilogrammen den einem Quadratmeter des grössten Kreises des Projectiles von der Luft bei der Temperatur von  $0^\circ$  im Niveau des Meeres entgegengesetzten Widerstand ausdrückt; die Dichtigkeit dieser Luft nennen wir m. In der Luft von irgend welcher Dichtigkeit d wird dieser Einheitswiderstand  $U \frac{d}{m}$  sein, und eben so gross wird auch der Druck der zusammengedrückten Luft auf ein Quadratmeter sein. Wenn wir diesen Druck in Millimetern der Quecksilbersäule ausdrücken und durch 13,59, das specifische Gewicht des Quecksilbers, dividiren\*), so erhält man für diesen Druck, den wir  $\varrho$  nennen:

$$\varrho = \frac{d}{m} \frac{U}{13,59} \dots \dots (1)$$

Bei dieser Formel ist zu bemerken, dass die Dichtigkeit d der (nicht comprimirten) Luft mit der entsprechenden Barometerhöhe  $\mu$ , ausgedrückt in Millimetern, folgende Relation hat:

$$\frac{d}{m} = \frac{\mu}{760} \frac{1}{1 + \alpha T},$$

wobei T die von dem gewöhnlichen Nullpunkte an gerechnete Temperatur und  $\alpha$  den bekannten Ausdehnungscoefficienten bedeutet, welcher für die Skala von Celsius  $\frac{1}{273}$  ist. Will man die absolute Temperatur t einführen,

so ist  $T = t - \frac{1}{\alpha}$  und  $1 + \alpha T = \alpha t = \frac{t}{273}$ .

Hiernach wird Formel (1) umgewandelt in:

$$\frac{\varrho}{\mu} = 0,02643 \frac{U}{t} \dots \dots (2),$$

wodurch das Verhältniss der Drücke der atmosphärischen Luft vor und nach der Zusammendrückung ausgedrückt wird. Man wird nun leicht die absolute Temperatur t' berechnen können, bis zu welcher die in Berührung mit dem Aërolithen kommende Luft vermöge der Zusammendrückung erhöht werden kann. Zu diesem Zwecke bedienen wir uns der Formel, welche Poisson für die Berechnung der von der Zusammendrückung der Gase entwickelten Wärme gegeben hat\*\*); obgleich diese Formel ursprünglich aus theoretischen Vorstellungen hergeleitet wurde, welche jetzt in der

\*) Wenn der Druck auf ein Quadratmeter a Kilogramme beträgt, so wird er auf ein Quadratdecimeter  $\frac{a}{100}$  Kilogr. betragen; er wird also dem Drucke von  $\frac{a}{100}$  Decimeter Wasser oder dem von a Millimeter Wasser, oder endlich dem von  $\frac{a}{13,59}$  Millimeter Quecksilber gleich kommen.

\*\*) **Poisson**: Sur la chaleur des gaz et des vapeurs. Annales de physique et de chimie, Paris 1823.



Wissenschaft keine Geltung mehr haben, ist sie dennoch später durch die neuen thermodynamischen Theorien gerechtfertigt worden und daher auch jetzt von berechtigter Anwendung\*). Nennt man  $c$  die specifische Wärme bei constantem Drucke und  $c'$  die bei constantem Volumen, so giebt die Poisson'sche Formel:

$$\frac{t'}{t} = \left(\frac{\rho}{\mu}\right)^1 - \frac{c'}{c}$$

Aus neueren Versuchen resultirt  $\frac{c}{c'} = 1,415$ , und nach Regnault kann man diesen Werth für die Luft als unabhängig von der Temperatur und dem Drucke betrachten. Hieraus folgt:

$$\frac{t'}{t} = \left(\frac{\rho}{\mu}\right)^{0,2933} = \left(0,02643 \frac{U}{t}\right)^{0,2933},$$

$$t' = 0,3445 \times t^{0,7067} \times U^{0,2933},$$

$$\log t' = 9,53720 + 0,7067 \log t + 0,2933 \log U \dots (3).$$

Da  $U$  einzig und allein eine Function der Geschwindigkeit  $u$  ist, so wird für alle Projectile, welche diese Geschwindigkeit an derjenigen Stelle der Atmosphäre besitzen, deren Temperatur  $t$  ist, die erzeugte Wärme dieselbe sein, wie gross auch der Durchmesser und die Dichtigkeit des Projectiles, und welche auch seine Bewegungsrichtung sein mag; dies rechtfertigt einen in dem Texte §. 23 ausgesprochenen Satz.

Wir wollen nach Sir John Herschel annehmen, dass die Temperatur in den obersten Schichten der Atmosphäre  $-150^\circ \text{C.}$  sei, also  $t = +123^\circ$  setzen. Indem man nun für  $U$  successive die Ausdrücke von Didion und von S. Robert annimmt, also:

$$1. U = 0,0260 \left(1 + \frac{u}{400}\right) u^2$$

$$2. U = 0,03874 \left(1 + \left(\frac{u}{696}\right)^2\right) u^2$$

so findet man im ersten Falle:

$$\text{für } u = 72000 \text{ Met., } t' = 11493^\circ \text{ äquivalent mit } +11220^\circ \text{ C.,}$$

$$\text{für } u = 16000 \text{ „ } t' = 3079^\circ \text{ „ „ } +2806^\circ \text{ C.;}$$

in dem zweiten Falle dagegen:

$$\text{für } u = 72000 \text{ Met., } t' = 42776^\circ \text{ äquivalent mit } +42503^\circ \text{ C.,}$$

$$\text{für } u = 16000 \text{ „ } t' = 7326^\circ \text{ „ „ } +7053^\circ \text{ C.}$$

Dies dürften die bei der ersten Berührung der Projectile mit der Atmosphäre erzeugten Temperaturen sein; sie scheinen mehr als hinreichend hoch zu sein, um auf ihrer Oberfläche die Schmelzungsrinde zu erzeugen. Wir müssen ferner bemerken, dass diese Temperaturen die höchsten sind, welche während der ganzen Bewegung hervorgebracht werden können. Untersucht man in der That den Ausdruck (3), so sieht man leicht, dass er mit der Zunahme von  $t$  und  $U$  wächst. Bei dem Eindringen des Projectiles in die Atmosphäre nimmt aber  $U$  schon von den ersten Schichten an mit ausserordentlicher Schnelligkeit ab\*\*); zu gleicher Zeit nimmt  $t$  zu, kann aber (so weit wir über den Zustand der obersten atmosphärischen Schichten muthmassen können) nicht in gleichem Verhältniss zunehmen, wie  $U$  abnimmt. Hiervon rührt die im Text ausgesprochene Schlussfolgerung her,

\*) P. de S. Robert, Principes de Thermodynamique, 2. Edition p. 166.

\*\*) Um sich davon zu überzeugen, genügt es zu bemerken, dass  $u$  sehr schnell abnimmt (S. die Berechnungen der Ersten Note) und dass für planetarische Geschwindigkeiten  $U$  zunimmt ungefähr wie die Kuben von  $u$  (nach Didion), oder fast wie die Biquadrate von  $u$  (nach S. Robert).



dass die höchste Temperatur an der Oberfläche der Aërolithen sich in den ersten Augenblicken nach seinem Eindringen in die Atmosphäre entwickelt.

Wollte man, statt der von Sir J. Herschel angenommenen Temperatur der obersten Luftschichten, die von Pouillet gegebene annehmen, so würden die Resultate kaum verschieden sein. Nimmt man mit Poisson und Fourier eine höhere Temperatur an, so würde man für die Zusammendrückungswärme einen etwas grösseren Werth gefunden haben, aber auch von derselben Ordnung.

Wenn man aber den neueren Ideen zu Folge für die Temperatur der obersten Schichten den absoluten Nullpunkt annehmen wollte, so würde dort die Zusammendrückungswärme ebenfalls Null sein und die Erhitzung würde erst tiefer in einer Schicht beginnen, wo der bewegte Körper schon einen Theil seiner Geschwindigkeit verloren hat. In diesem Falle muss die Erhitzung nothwendigerweise geringer sein als nach der Hypothese von Sir J. Herschel.

### Dritte Note.

#### Ueber die Vertheilung der Kometenbahnen im Raume.

Bei der Untersuchung der Gesetze, nach welchen die Kometen die das Sonnensystem umgebenden Gegenden bevölkern, haben wir drei Umstände zu betrachten; nämlich die Anordnung der Ebenen ihrer Bahnen, ferner die Anordnung der grossen Axen der von den Kometen beschriebenen Kegelschnitte, und endlich die Art und Weise, wie die Perihelie in Bezug auf ihre Entfernung von der Sonne vertheilt sind.

Die Lage der Bahnebenen ist schon früher von Lambert, Bode und Laplace untersucht worden, zuletzt noch von Arago; sie betrachteten speciell das Verhältniss, nach welchem die Neigungen in Bezug auf die Ebene der Ekliptik variiren, sie Alle aber gingen von dem irrigen Princip aus, dass bei einer gänzlich zufälligen Vertheilung alle Neigungen von  $0^\circ$  bis  $90^\circ$  für gleich wahrscheinlich gehalten werden müssten. Dieser Irrthum wurde später von Cournot in einem Zusatze zur „Astronomie“ von Sir J. Herschel beseitigt. Er wies nach, dass eine zufällige Vertheilung der Ebenen der Kometenbahnen erfordere, dass die Pole dieser Ebenen auf der Himmelskugel gleichförmig vertheilt seien; hiernach begreife man leicht, dass die kleinen Neigungen weniger wahrscheinlich seien, als die grossen. Die nördlichen Pole aller derjenigen Bahnen, deren Ebenen eine geringere Neigung, als  $\varphi$  Grade, gegen die Ekliptik haben, sind in der That sämmtlich auf einer den Nordpol der Ekliptik umgebenden Kugelcalotte enthalten, deren Oberfläche auf der Kugel von dem Radius  $= 1$   $2\pi(1 - \cos \varphi)$  ist. Nach der Hypothese der gleichförmigen Vertheilung wird sich die Anzahl  $n$  dieser Bahnen zu der Gesamtanzahl  $N$  verhalten, wie die Oberfläche  $2\pi(1 - \cos \varphi)$  zu der ganzen Oberfläche der Halbkugel, also zu  $2\pi$ ; hiernach ist

$$n = N (1 - \cos \varphi) = 2 N \sin^2 \frac{1}{2} \varphi.$$

Indem ich diese Rechnung für 228 Kometen, welche von 1456 bis 1869 (incl.) beobachtet worden sind, anstellte und zunächst keine ausschloss,



hernach aber diejenigen, deren Periode unter 100 Jahre beträgt, ausnahm, fand ich folgende Resultate:

| Intervalle<br>der<br>Neigungen. | Anzahl der in<br>diesen Inter-<br>vallenenthalt.<br>Kometen. | Theoretisches<br>Verhältniss. | Anzahl der<br>Kometen mit<br>einer Periode<br>üb. 100 Jahre. | Theoretisches<br>Verhältniss. |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 0°—10°                          | 18                                                           | 3,4                           | 12                                                           | 3,1                           |
| 10 — 20                         | 17                                                           | 10,2                          | 8                                                            | 9,3                           |
| 20 — 30                         | 19                                                           | 16,8                          | 19                                                           | 15,2                          |
| 30 — 40                         | 23                                                           | 22,8                          | 21                                                           | 20,6                          |
| 40 — 50                         | 36                                                           | 28,0                          | 33                                                           | 25,3                          |
| 50 — 60                         | 32                                                           | 32,5                          | 32                                                           | 29,5                          |
| 60 — 70                         | 27                                                           | 36,0                          | 27                                                           | 32,6                          |
| 70 — 80                         | 28                                                           | 38,5                          | 27                                                           | 34,6                          |
| 80 — 90                         | 28                                                           | 39,7                          | 27                                                           | 35,8                          |
| Summa                           | 228                                                          | 227,9                         | 206                                                          | 206,0                         |

Betrachtet man die Zahlen der zweiten und dritten Spalte, so sieht man, dass die Ebenen der Kometenbahnen wirklich etwas mehr um die Ebene der Ekliptik herum angehäuft sind, als eine gleichförmige Vertheilung voraussetzen liess. Hierfür kann es hauptsächlich drei Gründe geben. Zunächst bewegt sich vor Allem unser Beobachtungsort in der Ebene der Ekliptik; dies vergrössert die Leichtigkeit, diejenigen Kometen, welche der Erdbahn sich mehr nähern können und eine geringe Neigung gegen dieselbe haben, zu entdecken und vorzugsweise zu beobachten. Sodann gelangen diejenigen Kometen, deren Bahnaxe fast senkrecht zur Ebene der Ekliptik ist, zu ihrem Perihel in Punkten des Raumes, welche häufig nur den Beobachtern auf der südlichen Halbkugel sichtbar sind; hierin liegt eine andere Ursache der scheinbaren Anhäufung der Kometenbahnen hinsichtlich der Ebene der Ekliptik. Endlich befinden sich die Kometen mit kurzer Umlaufszeit, von denen die meisten nothwendigerweise eine gegen die Ebene der Ekliptik wenig geneigte Bahn beschreiben müssen\*), wegen ihres häufigen Wiedererscheinens in sehr viel günstigeren Bedingungen für ihre Entdeckung, als die anderen; daher bildet ihre Anzahl, welche, nach der Wahrscheinlichkeit zu urtheilen, im Vergleich zu der Menge der anderen Kometen, sehr klein sein muss, dennoch einen ziemlich bedeutenden Bruchtheil von der Gesamtanzahl der beobachteten Kometen.

Dass die periodischen Kometen wirklich die Hauptursache der oben bemerkten Ungleichheit sind, wird durch die vierte und fünfte Spalte der Tabelle bewiesen, wo dieselbe Rechnung mit Ausschluss der 22 Kometen, deren Umlaufszeit sicher, oder wenigstens wahrscheinlich, geringer als 100 Jahre ist, wiederholt worden ist. Man sieht daraus, dass bei diesen die beobachteten Verhältnisse den berechneten viel besser entsprechen; es steht zu erwarten, dass die Annäherung noch grösser sein würde, wenn man von vielen noch nicht als periodisch erkannten Kometen die Bahn genauer kennte, und nicht blos nach der parabolischen Hypothese. Diese erste Berechnung giebt uns also noch keinen gewichtigen Grund gegen die Annahme, dass die Ebenen der Kometenbahnen nach dem Zufalle um die Sonne herum vertheilt sind.

\*) Die Kometen von kleiner Neigung können sich nämlich häufiger den grossen Planeten nähern und bedeutende Modificationen in ihrer Bahn erleiden.



Man kann aber eine genauere Kenntniss dieses Gegenstandes erlangen, wenn man die Vertheilung der Pole der Kometenbahnen auf der Himmelskugel nach ihren beiden Coordinaten betrachtet. Diese Arbeit ist in sehr genauer Weise von Prof. Mohn, jetzigem Director des meteorologischen Institutes von Norwegen, in einer von der königl. Universität zu Christiania 1861 publicirten Abhandlung ausgeführt worden\*). Er hat darin die Lagen von 173 Kometenbahnen untersucht, indem er alle Knoten und Neigungen derselben auf das Aequinoctium und die Ekliptik von 1800 reducirt und alle weniger sicheren Kometen, sowie alle diejenigen, deren Excentricität geringer ist als 0,967 (nämlich die des Halley'schen Kometen) ausgeschlossen hat. Indem er die Pole auf eine Planisphäre auftrug, fand Mohn, dass es an der Himmelskugel zwei entgegengesetzte Gegenden gebe, in denen diese Pole vergleichungsweise weniger häufig vorhanden sind, oder mit anderen Worten, dass auf der Kugel ein grösster Kreis existire, längs dessen die erwähnten Pole sich in grösserer Menge anhäufen. Die Pole dieses grössten Kreises, welche die Centra der Gegenden mit geringerer Häufigkeit sind, haben zu Coordinaten auf der nördlichen Halbkugel (bezogen auf die Ekliptik):  $20^{\circ}18'$  Länge  $+ 10^{\circ}16'$  Breite, auf der südlichen Halbkugel (bezogen auf die Ekliptik):  $182^{\circ}18'$  Länge  $- 10^{\circ}16'$  Breite, mit einem wahrscheinlichen Fehler von circa  $2\frac{1}{2}$  Grad. Bei getrennter Untersuchung der directen und der rückläufigen Kometen erhielt Mohn fast identische Resultate; dasselbe fand er bei Betrachtung der Kometen in den vier durch folgende Jahre bezeichneten Perioden: 1092—1749; 1750—1799; 1800—1829; 1830—1859.

Man kann also die Wahrheit der Thatsache nicht bestreiten. Ueber den Grad der Verdichtung in der Nähe dieses erwähnten Kreises wird man dadurch eine Vorstellung erlangen können, dass, wenn man zu beiden Seiten desselben in einer Entfernung von  $20^{\circ}$  zwei kleinere und mit ihm parallele Kreise zieht, die zwischen ihnen enthaltene Zone von  $40^{\circ}$ , deren Oberfläche 0,342 der ganzen Kugelfläche ist, gerade die Hälfte aller Pole der Kometenbahnen enthält; während die beiden zu ihren Seiten befindlichen Calotten, welche zusammen 0,658 der ganzen Kugelfläche ausmachen, die andere Hälfte enthalten. Die mittlere Dichtigkeit der Pole in der erwähnten Zone ist also 1,92 mal grösser als die in den beiden Calotten. Noch grösser ist der Unterschied, wenn man eine  $20^{\circ}$  breite Zone längs dieses Kreises mit zwei, zusammen einen gleich grossen Raum einnehmenden, Polar-Calotten vergleicht; das Verhältniss der Dichtigkeit springt dabei von 1,92 auf 3,46. Ueberdies ist es bemerkenswerth, dass der Sonnenapex, d. h. der Punkt des Himmels, gegen welchen hin das Planetensystem in seiner Eigenbewegung gerichtet ist, fast genau auf dem Umfange dieses Kreises sich befindet.

In seinem Berichte über diese Arbeit, welcher mit ihr zugleich gedruckt ist, spricht Prof. Fearnley, indem er die Wahrheit der von Mohn entdeckten Thatsache constatirt, die Meinung aus, dass die Ursache derselben nicht in der Vertheilung der Kometenbahnen im Raume zu suchen sei, sondern vielmehr als abhängig von den Umständen betrachtet werden müsse, welche die Entdeckung neuer Kometen zu begleiten pflegen. Nach Fearnley dürfte die Erscheinung davon herrühren, dass die meisten Kometen von den Beobachtern auf der nördlichen Halbkugel der Erde in den Stunden vor Mitternacht entdeckt würden, und gewöhnlich dann, wenn der von den Radien vectoren der Erde und der Kometen an der Sonne gebildete helio-centrische Winkel ein spitzer ist, während für den irdischen Beobachter der Komet sehr viel häufiger in dem Vertical der Sonne sich befindet, als in dem entgegengesetzten Vertical.

Diese Erklärung des Prof. Fearnley scheint um so annehmbarer zu sein, als es nicht den Anschein hat, dass man hoffen könne, auf irgend eine

\*) Om Kometbanernes indbyrdes Beliggenhed af H. Mohn. Christiania 1861.



Weise die von Mohn aufgefundene Vertheilung mit den Einwirkungen in Zusammenhang zu bringen, welche die translatorische Bewegung des Sonnensystemes auf die Lage der Kometen ausüben kann. Man hat also auch hier keinen Grund, den Kometenbahnen eine von der Gleichförmigkeit, welche durch den Zufall hervorgebracht sein würde, abweichende Anordnung beizumessen.

Richtungen der grossen Axen der Bahnen. Auch diese Frage ist schon von Lambert und Bode, aber nach ungenügendem Materiale, untersucht worden. Prof. Mossotti, theuren Angedenkens, machte hieraus einen Gegenstand seines speciellen Studiums; in den letzten Jahren seines Lebens war er im Begriff, eine Abhandlung hierüber auszuarbeiten und überreichte der Versammlung der „British Association“ zu Dublin im Jahre 1857 einige Schlussfolgerungen, zu denen er über diesen Gegenstand gelangt war. Diese Abhandlung wurde leider wegen des Todesfalles des Autors nicht vollendet und war nicht in dem Zustande, publicirt werden zu können. Die Hauptresultate der Untersuchung waren aber schon in ganz bestimmter Weise in dem Geiste des Autors festgestellt, wie aus einem Briefe an einen Freund hervorzugehen scheint, welcher sich in den Manuscripten Mossotti's vorfindet, und dessen Kenntniss ich der freundlichen Gefälligkeit des Prof. Donati verdanke, welcher die diese Untersuchungen betreffenden Blätter mir für einige Zeit zur Durchsicht überliess.

In diesem Briefe, welcher i. J. 1859 geschrieben zu sein scheint, resumirt Mossotti die Resultate, zu denen er gelangt ist, folgendermassen:

„In der vorletzten Versammlung der „British Association“ zu Dublin theilte ich mit, dass die Untersuchung der Lage der Kometenbahnen mich zu der Ansicht geführt habe, dass die Kometen grösstentheils aus den in der Richtung der, mit unbewaffnetem Auge sichtbaren, Milchstrasse befindlichen Gegenden zu uns gelangten, und dass ich die Beweise für diese Vermuthung in einer für die Astronomische Gesellschaft zu London bestimmten Abhandlung vollständiger entwickeln wollte. Die Vollendung dieser Abhandlung ist durch meine Krankheit aber verzögert worden: doch bestärken mich die schon niedergeschriebenen Theile derselben in der Vorstellung, dass die Kometen aus verschiedenen Gegenden des Himmelsraumes zu uns gelangen, und zwar in einer Anzahl, welche der Menge der in diesen Gegenden befindlichen Sterne proportional ist. Um die Grundlage, auf welche meine Behauptung sich stützt, zu verstehen, bemerke ich, dass die Bahnen der Kometen, die wir beobachten können, sehr lang gestreckte Kegelschnitte sind, welche sich im Raume bis auf sehr grosse Entfernungen von der Sonne hin ausdehnen. Die Richtungen ihrer grossen Axen weisen auf die Orte hin, von wo die Kometen bei ihrem Eindringen in die sie beherrschende Actionssphäre der Sonne hergekommen sind, und sind durch die Positionen der Aphale, welche den bekannten Perihelen entgegengesetzt sind, gegeben. Theilt man nun die Himmelskugel in verschiedene, mit dem Kreise der Milchstrasse parallele Zonen und zählt man die Anzahl der in jeder derselben befindlichen Aphale, so findet man, dass diese Anzahl von dem Umfange der Milchstrasse nach ihrem Pole zu in demselben Verhältnisse abnimmt, als die Anzahl der in denselben Zonen enthaltenen Sterne. Bei der Untersuchung dieses Verhältnisses bin ich nicht über die Sterne 5. Grösse hinausgegangen: da nämlich die Zeit, in welcher ein Himmelskörper in der mittleren Entfernung der Sterne 1. Grösse auf die Sonne fallen würde, ungefähr 73 Million Jahre beträgt, und da die Sterne 5. Grösse ungefähr sechsmal weiter entfernt sind, so ist nicht anzunehmen, dass die Kometen vermöge der herrschenden Einwirkung der Sonne von grösseren Entfernungen her auf sie fallen. Aus dem angeführten Satze folgt, dass die Sterne und die Kometen wahrscheinlich einen analogen und gemeinsamen kosmischen Ursprung haben; wenn, wie Einige gemeint haben, die Bildung der Sterne von einer durch die Schwere veranlassten Verdichtung an verschiedenen Stellen einer den Himmelsraum



erfüllenden Nebelmaterie herrührt, so dürften die Kometen die Ueberreste dieser Materie sein, welche den verdichtenden Kräften an denjenigen Stellen, wo sich die Sterne gebildet haben, entschlüpft sind.“

In denselben Manuscripten finden sich einige wichtige Tabellen, unter ihnen eine der Positionen der Pole der Ebenen, in welchen sich die Bahnen befinden; aber man findet nicht, dass Mossotti irgend ein Gesetz oder eine Folgerung daraus gezogen hat, wie es nach ihm Mohn gethan hat. Wichtig dagegen, als Basis der oben erwähnten Deductionen, ist die Tabelle der heliocentrischen Positionen der Aphelie, welche er mit grosser Sorgfalt für 181, bis 1863 (dem Jahre seines Todes) beobachtete, Kometen berechnet hatte, mit Ausschluss der zu unsicheren Bahnen und derjenigen, welche gewiss oder wahrscheinlich elliptisch sind. Ich habe diese Tabelle studirt; aber trotz der grossen Autorität, die mit den Ansichten eines so gewissenhaften Gelehrten verknüpft ist und trotzdem, dass die von ihm dargelegten Conjecturen durchaus rationell und fast eine natürliche Consequenz der immer allgemeiner angenommenen Ansicht über den Ursprung der Kometen sind, so muss ich doch erklären, dass aus seiner Tabelle diese Conjecturen mir nicht als eine so wahrscheinliche Consequenz hervorzugehen scheinen, als Mossotti geglaubt hat.

Wenn man mit Hülfe dieser Tabelle auf einer Planisphäre nach der schon mehrere Male erwähnten Projection von Lorgna die Positionen der Perihelie verzeichnet (welche den Aphelen direct entgegengesetzt sind), so sieht man sofort, dass die Anzahl der Perihelie auf der nördlichen Hemisphäre (in Bezug auf die Ekliptik) die Anzahl der Perihelie auf der südlichen Halbkugel beträchtlich übertrifft: von 181 Perihelen befinden sich 102 auf der nördlichen und 79 auf der südlichen Halbkugel. Obgleich diese Differenz, welche 23 beträgt, noch nicht ausserhalb der Grenze derjenigen liegt, welche man von dem Zufalle\*) erwarten kann, so findet man dennoch in der nördlichen Position der meisten Beobachter eine annehmbare Erklärung hierfür, die sich auch von selbst darbietet und bewirkt, dass viele von den Kometen unbeobachtet bleiben, welche ihr Perihel gerade bei dem Südpole der Ekliptik haben. Wenn wir in der That die ganze Kugel vermittelst der Ekliptik und den beiden Parallelen von  $30^\circ$  in 4 äquivalente Zonen theilen, so finden wir

zwischen  $+ 90^\circ$  und  $+ 30^\circ$  Breite 51 Perihelie.

|   |               |   |               |   |    |   |
|---|---------------|---|---------------|---|----|---|
| „ | $+ 30^\circ$  | „ | $\pm 0^\circ$ | „ | 51 | „ |
| „ | $\pm 0^\circ$ | „ | $- 30^\circ$  | „ | 48 | „ |
| „ | $- 30^\circ$  | „ | $- 90^\circ$  | „ | 31 | „ |

Hieraus sieht man, dass allein in dem letzten Raume, welcher die antarktischen Gegenden der Ekliptik enthält, die Leere an Perihelen sich befindet, und dass in dem übrigen Theile der Kugel die Vertheilung im Sinne der Breite vollkommen gleichförmig ist.

In Betreff einer Anhäufung der Aphelie in der Nähe der Milchstrasse gestehe ich, von einer solchen auf der von mir construirten Karte kein sicheres Anzeichen erblicken zu können. Der nördliche Pol der Milchstrasse befindet sich beinahe in dem Punkte der Himmelskugel, dessen Coordinaten  $180^\circ$  Länge und  $+ 30^\circ$  Breite sind. Wenn er der Mittelpunkt einer an Aphelen leeren Gegend wäre, so müsste man bei Betrachtung der Vertheilung der nördlichen Aphelie in Bezug auf die Länge offenbar eine kleinste Menge der Aphelie bei der Länge von  $180^\circ$  haben; betrachtet man

\*) Nach der Wahrscheinlichkeitsrechnung kann man unter 11 ähnlichen Fällen einmal eine Differenz von 23 Einheiten erwarten, oder eine noch grössere. Die wahrscheinliche Differenz der Zahlen der Aphelie ist 9, daher kann man mit gleichem Rechte erwarten, dass bei einer zufälligen Vertheilung die Differenz der beiden Zahlenangaben grösser oder kleiner als 9 ist.



dagegen die Vertheilung der südlichen Aphele, so müsste man eine kleinste Menge bei der Länge  $0^{\circ}$  haben. Diese Vertheilung ergibt sich aber nach der Tabelle von Mossotti als folgende:

| Nördliche Aphele.        |         |  | Südliche Aphele.         |         |  |
|--------------------------|---------|--|--------------------------|---------|--|
| Länge.                   | Anzahl. |  | Länge.                   | Anzahl. |  |
| $0^{\circ} - 30^{\circ}$ | 7       |  | $0^{\circ} - 30^{\circ}$ | 7       |  |
| 30 — 60                  | 7       |  | 30 — 60                  | 7       |  |
| 60 — 90                  | 11      |  | 60 — 90                  | 9       |  |
| 90 — 120                 | 9       |  | 90 — 120                 | 11      |  |
| 120 — 150                | 4       |  | 120 — 150                | 10      |  |
| 150 — 180                | 2       |  | 150 — 180                | 5       |  |
| 180 — 210                | 3       |  | 180 — 210                | 11      |  |
| 210 — 240                | 7       |  | 210 — 240                | 8       |  |
| 240 — 270                | 7       |  | 240 — 270                | 8       |  |
| 270 — 300                | 6       |  | 270 — 300                | 12      |  |
| 300 — 330                | 7       |  | 300 — 330                | 5       |  |
| 330 — 360                | 9       |  | 330 — 360                | 9       |  |

Betrachtet man nur die nördlichen Aphele, so sieht man, dass man in der Nähe von  $165^{\circ}$  der Länge wirklich ein Minimum der Menge hat; für die südlichen Aphele findet man aber nicht bei  $0^{\circ}$  Länge ein entsprechendes Minimum. Wir wollen noch bemerken, dass wegen der nördlichen Position der Beobachter die nördlichen Aphele gerade die am wenigsten vollständig bekannten sind und dass man ihrem Ergebnisse nicht dasselbe Gewicht, als dem der südlichen Aphele beimessen kann. Diese verschiedene Art und Weise des Verhaltens der nördlichen und der südlichen Aphele wird noch deutlicher, wenn man nicht Intervalle von  $30^{\circ}$  Länge sondern von  $180^{\circ}$ , also volle sphärische Quadranten in Betracht zieht.

| Nördliche Aphele.         |         |  | Südliche Aphele.          |         |  |
|---------------------------|---------|--|---------------------------|---------|--|
| Länge.                    | Anzahl. |  | Länge.                    | Anzahl. |  |
| $0^{\circ} - 180^{\circ}$ | 40      |  | $0^{\circ} - 180^{\circ}$ | 49      |  |
| 30 — 210                  | 36      |  | 30 — 210                  | 53      |  |
| 60 — 240                  | 36      |  | 60 — 240                  | 54      |  |
| 90 — 270                  | 32      |  | 90 — 270                  | 53      |  |
| 120 — 300                 | 29      |  | 120 — 300                 | 54      |  |
| 150 — 330                 | 32      |  | 150 — 330                 | 49      |  |
| 180 — 360                 | 39      |  | 180 — 360                 | 53      |  |
| 210 — 30                  | 43      |  | 210 — 30                  | 49      |  |
| 240 — 60                  | 43      |  | 240 — 60                  | 48      |  |
| 270 — 90                  | 47      |  | 270 — 90                  | 49      |  |
| 300 — 120                 | 50      |  | 300 — 120                 | 48      |  |
| 330 — 150                 | 47      |  | 330 — 150                 | 53      |  |

Hier entspricht auf der nördlichen Halbkugel die geringste Anzahl der Aphele den Längen  $120^{\circ} - 300^{\circ}$ , von denen  $210^{\circ}$  das Mittel ist, während die südlichen Aphele in ihrer Vertheilung eine überraschende Gleichförmigkeit zeigen. Betrachtet man nun geradeswegs die Karte der Aphele, so erscheinen diese auf der südlichen Halbkugel wie nach dem Zufall und ohne irgend eine Regel vertheilt, während man auf der nördlichen Halbkugel um den Pol der Ekliptik herum einen weiten leeren Raum hat, eine Folge der nördlichen Position der Beobachter; ferner hat man in der übrigbleibenden nahe bei der Ekliptik befindlichen Zone einen anderen beträchtlich grossen leeren Raum zwischen  $110^{\circ}$  und  $210^{\circ}$  der Länge, welcher nach Norden an den oben angeführten polaren leeren Raum grenzt und sich nach Süden bis zur Berührung mit der Ekliptik selbst ausdehnt. Als das Centrum dieses leeren Raumes kann man den Punkt von  $160^{\circ}$  Länge und  $+ 30^{\circ}$  Breite abschätzen; und in der That ist die Distanz dieses Punktes von dem Nordpole der Milchstrasse nicht sehr gross; nur für diese Halbkugel



würde also die Hypothese von Mossotti gerechtfertigt sein. Diese an Kometenaphelen arme Gegend erregte auch die Aufmerksamkeit von Prof. Hoek, welcher das Centrum derselben in den Punkt  $169^{\circ} + 16^{\circ}$  versetzte (Monthly Notices of the R. Astr. Soc. Vol. XXVI. 1866 p. 207).

Es ist schwer zu sagen, ob eine solche Anomalie noch innerhalb der Grenzen derjenigen liegt, welche man vom Zufalle erwarten kann; 8 oder 10 Apele mehr auf der nördlichen Halbkugel zwischen den Längen von  $110^{\circ}$  und  $210^{\circ}$  würden hinreichen, sie völlig zu beseitigen. Und, zugegeben, dass fortgesetzte Beobachtungen ihre Realität erweisen würden, so würde man doch nicht leicht eine Erklärung für sie finden. Um so wunderbarer ist es, dass in dieselbe Gegend die Apele von sehr zahlreichen Meteorströmen fallen, welche die Nächte zwischen dem Anfang Juli und der Mitte August so interessant machen. Hier bietet sich den Freunden von Hypothesen ein weites Feld dar.

Gesetz der Periheldistanzen. Dieses Gesetz ist durch folgende Tabelle gegeben, welche anzeigt, wie viele Perihele man zwischen gegebenen Grenzen der Distanz von der Sonne kennt: sie ist aus dem schon erwähnten Kometenkatalog von Littrow, welcher sich bis 1865 erstreckt, gebildet worden; es wurden hierbei 20 Kometen ausgeschlossen, deren Umlaufszeit wahrscheinlich oder sicher kleiner als 100 Jahre ist.

| Grenzen der Distanzen. | Anzahl der Kometen. | Summa. |
|------------------------|---------------------|--------|
| 0,0—0,1                | 10                  | 51     |
| 0,1—0,2                | 9                   |        |
| 0,2—0,3                | 10                  |        |
| 0,3—0,4                | 13                  |        |
| 0,4—0,5                | 9                   |        |
| 0,5—0,6                | 22                  | 95     |
| 0,6—0,7                | 16                  |        |
| 0,7—0,8                | 20                  |        |
| 0,8—0,9                | 18                  |        |
| 0,9—1,0                | 19                  |        |
| 1,0—1,1                | 15                  | 38     |
| 1,1—1,2                | 8                   |        |
| 1,2—1,3                | 6                   |        |
| 1,3—1,4                | 3                   |        |
| 1,4—1,5                | 6                   |        |
| 1,5—2,0                | 5                   | 13     |
| 2,0—3,0                | 7                   |        |
| 3,0—4,0                | 0                   |        |
| 4,0—5,0                | 1                   |        |

Man sieht, dass für kleinere Distanzen, als 0,5, die Anzahl der in einer Kugel von gegebenem Radius enthaltenen Perihele, dem Radius dieser Kugel proportional ist, nicht aber dem Volumen, wie es naturgemässer zu vermuthen wäre. Zwischen 0,5 und 1,0 nimmt die Anzahl der Perihele auch gleichförmig mit den Distanzen zu, aber für gleiche Intervalle ist die Anzahl der Kometen grösser als zwischen 0,0 und 0,5. Jenseits der Distanz 1 nimmt die Menge der Perihele mit grosser Schnelligkeit ab; die Kometen, deren Perihel über 1,5 hinausreicht, gehören zu den Ausnahmen. —

Viele Umstände bewirken indessen zusammen, dass die Tabelle nicht die wahre Vertheilung der Periheldistanzen darstellt. Die Reihe der Zahlen ist keinesweges continuirlich; der von der Distanz 0,4 an bemerkbare Sprung hat wahrscheinlich seinen Grund. Die Kometen, welche ihr Perihel sehr nahe bei der Sonne haben, können einerseits wegen des grösseren Glanzes, den sie unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen erlangen können, allerdings leichter sichtbar werden. Eine andere Ursache aber kann ihre



Sichtbarkeit vermindern: in demjenigen ganzen Theile ihrer Bahn, welcher sich innerhalb einer Kugel, um die Sonne als Mittelpunkt, mit einem Radius von 0,5 befindet, sind die Kometen von der Sonne um weniger als  $30^\circ$  entfernt und in den meisten Fällen in die Dämmerung eingehüllt und meistens unsichtbar. Wie gross auch immer die stärkere Lichtentwicklung im Innern dieser Kugel sein mag, sie vermag gewöhnlich nur wenig ihre Sichtbarkeit zu erhöhen. Hieraus folgt, dass diese Kometen auf einem mehr oder weniger langen Bogen ihrer Bahn für uns verloren sind, und gerade genau dann, wenn ihr Glanz am grössten ist. Dies muss die Wahrscheinlichkeit dafür vermindern, dass sie von den irdischen Beobachtern gesehen werden, bei denen sie unbemerkt vorbeigehen, wenn die Erde und der Komet in Bezug auf die Sonne eine ungünstige Stellung haben. Noch ist zu bemerken, dass für diese Kometen die Sichtbarkeitsbedingungen nicht sehr von der Periheldistanz abhängen, denn alle hören innerhalb einer gewissen mittleren Grenze der Distanz (ungefähr 0,5) auf, sichtbar zu sein.

Die Kometen, deren Periheldistanz grösser als 0,5 ist, werden (im Allgemeinen) keine so grosse Lichtentwicklung zeigen; da sie aber stets ausserhalb der erwähnten Sphäre (von 0,5 Radius) bleiben, so werden sie auch eine sehr viel längere Zeit hindurch gesehen werden können, auch in Betracht der geringeren Geschwindigkeit, mit welcher sie die Grade ihrer Anomalie durchlaufen. Deshalb kann die Erde bei ihrer jährlichen Umdrehung sie leichter in irgend einer günstigen Configuration antreffen. Dasselbe gilt für die Kometen, deren Periheldistanz wenig grösser als 1 ist\*). Für die Kometen, deren Periheldistanz viel grösser als 1 ist, verbinden sich zwei ungünstige Umstände: die grosse Entfernung von der Sonne und von der Erde; daher muss ihre Zahl schnell abnehmen. —

Alle diese Umstände (welche man unmöglich numerisch bestimmen

\*) Nimmt man an, dass der für die Beobachtung der Kometen günstigste Raum der zwischen den beiden mit den Radien 0,5 und 1,2 um die Sonne beschriebenen Kugeln sei, so halten sich die Kometen von verschiedener Periheldistanz in diesem Raume während einer Zeit von verschiedener Dauer auf, deren Verhältniss man aus folgender Tabelle ersehen kann:

| Periheldistanz. | Es verbleiben die Kometen           |                                     |                                             |
|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|
|                 | innerhalb der Kugel vom Radius 0,5. | innerhalb der Kugel vom Radius 1,2. | in dem Zwischenraum zwischen beiden Kugeln. |
| 0,0             | Tage 19,4                           | Tage 72,0                           | Tage 52,6                                   |
| 0,1             | 24,2                                | 80,5                                | 56,3                                        |
| 0,2             | 27,0                                | 87,7                                | 60,7                                        |
| 0,3             | 27,0                                | 93,6                                | 66,6                                        |
| 0,4             | 22,6                                | 98,0                                | 75,4                                        |
| 0,5             | 0,0                                 | 101,0                               | 101,0                                       |
| 0,6             | —                                   | 101,9                               | 101,9                                       |
| 0,7             | —                                   | 100,7                               | 100,7                                       |
| 0,8             | —                                   | 97,0                                | 97,0                                        |
| 0,9             | —                                   | 90,1                                | 90,1                                        |
| 1,0             | —                                   | 78,4                                | 78,4                                        |
| 1,1             | —                                   | 58,9                                | 58,9                                        |
| 1,2             | —                                   | 0,0                                 | 0,0                                         |

Der Gang der Zahlen der vierten Spalte coincidirt in bemerkenswerther Weise mit dem der obigen Tabelle über die Vertheilung der Perihelie. Diese Coincidenz ist vielleicht nicht ganz das Werk des Zufalles. Die natürliche Schlussfolgerung würde sein, dass alle Periheldistanzen gleich wahrscheinlich sind.



kann) bewirken, dass man aus der obigen Tabelle nie über die wahre Vertheilung der Perihelie wird Schlüsse ziehen können. Es geht aber als sehr wahrscheinlich aus ihr hervor, dass die Dichtigkeit der Perihelie im Raume, also ihre einer gegebenen Volumeneinheit entsprechende Anzahl, mit der Annäherung an die Sonne sehr schnell wächst. Man sieht in der That, dass die ersten 10 Zahlen der Tabelle in einer ohne Vergleich langsameren Progression zunehmen, als die Volumina der jedem Intervalle entsprechenden sphärischen Räume. —

Beziehung zwischen der Richtung der grossen Axen und den Periheldistanzen. Ich möchte nicht zu behaupten wagen, dass zwischen diesen beiden Elementen ein so allgemeiner Zusammenhang bestehe, um eine nothwendige Abhängigkeit des einen von dem anderen aufzustellen; folgende Thatsache aber scheint indessen der Beachtung der Astronomen werth zu sein, nämlich die, dass die Kometen und die Meteorströme, deren Periheldistanz sehr klein ist, eine vorwiegende Tendenz haben von den Gegenden des Raumes herzukommen, die in der Richtung des Punktes von AR  $72^{\circ}$ , Decl.  $+ 48^{\circ}$  gelegen sind, also nicht weit von  $\alpha$  Aurigae.

Wenn man in der That alle Kometen vereint, deren Periheldistanz kleiner ist, als 0,2 und ebenso auch aus unserer Tabelle der Meteorströme diejenigen aussucht, welche derselben Bedingung genügen und wenn man, neben jeden die entsprechende Periheldistanz und die heliocentrischen Coordinaten seines Aphels in Länge und Breite setzt, so hat man folgende Uebersicht, in welcher die Periheldistanzen dem Kometenverzeichnisse von Littrow entnommen sind, welches er im Anhang zu der fünften Auflage seines Werkes „Die Wunder des Himmels“ gegeben hat. Ich habe den Kometen von 1668 ausgelassen, dessen Elemente sehr unsicher und auf eine vermeintliche Identität mit dem grossen Kometen von 1843 gegründet sind. —

| Komet.        | Periheldistanz. | Coordinaten des Aphels. |         |
|---------------|-----------------|-------------------------|---------|
|               |                 | Länge.                  | Breite. |
| * 1843 I.     | 0,0055          | 101°                    | — 35°   |
| ** 1680       | 0,0062          | 91                      | + 8     |
| * 1689        | 0,0189          | 116                     | — 54    |
| 1865 I.       | 0,0260          | 260                     | — 68    |
| * 1826 V.     | 0,0269          | 61                      | + 80    |
| ** 1847 I.    | 0,0426          | 90                      | + 46    |
| ** 1816       | 0,0485          | 98                      | + 34    |
| * 1593        | 0,0891          | 350                     | — 12    |
| * 1821        | 0,0918          | 54                      | — 10    |
| ** 1780 I.    | 0,0993          | 84                      | + 43    |
| 1665          | 0,1065          | 238                     | — 23    |
| * 1769        | 0,1228          | 333                     | + 20    |
| * 1830 II.    | 0,1259          | 141                     | — 19    |
| ** 1827 III.  | 0,1378          | 81                      | + 53    |
| * 1851 IV.    | 0,1414          | 166                     | + 61    |
| ** 1582       | 0,1683          | 63                      | + 12    |
| * 1853 IV.    | 0,1727          | 115                     | + 60    |
| * 1577        | 0,1775          | 345                     | + 69    |
| 1826 II.      | 0,1882          | 218                     | + 1/2   |
| Meteorströme. |                 |                         |         |
| * N. 155      | 0,024           | 27                      | + 17    |
| ** N. 174     | 0,024           | 69                      | + 17    |
| ** N. 175     | 0,063           | 77                      | + 25    |
| * N. 165      | 0,095           | 11                      | — 3     |
| ** N. 157     | 0,117           | 68                      | + 5     |



Verzeichnet man nun auf einer Karte die Position der 24 Aphelien, so findet man, dass 9 von ihnen (die mit einem doppelten Sternchen bezeichnet sind) in einem kleinen Raume um Capella herum zusammengedrängt sind, der Art, dass man alle in einem kleinen Kreise zusammenfassen kann, der aus dem Punkte AR  $72^{\circ}$  Decl.  $+ 48^{\circ}$  mit einem Radius von weniger als  $30^{\circ}$  beschrieben wird. Die Oberfläche innerhalb dieses Kreises ist kleiner als  $\frac{1}{15}$  der ganzen Kugelfläche. Wenn man hierauf um denselben Punkt, als Pol, einen grössten Kreis beschreibt, so werden auf der so bestimmten Halbkugel ausser den 9 genannten Punkten noch andere 12 (die mit einem einfachen Sternchen bezeichnet sind) enthalten sein, so dass auf die entgegengesetzte Halbkugel von den 24 Aphelen nur 3 fallen. Dieser Umstand ist bei einer zufälligen Vertheilung so unwahrscheinlich, dass man viele Tausende gegen Eins wetten kann, dass er keine Wirkung des Zufalles sein kann. Bemerkenswerth ist ferner der Antheil der Meteorströme an dieser Thatsache: von den 5 aufgeführten Aphelen sind drei in dem vorher erwähnten kleinen Raume enthalten, während alle fünf sich auf derjenigen Halbkugel befinden, wo auch die Aphelien der oben betrachteten Kometen zum grössten Theile vereinigt sind.

Wenn die Zukunft diesen Umstand durch eine grössere Menge von Beobachtungen bestätigen wird, so werden wir zu dem Schlusse geführt, dass in der Richtung der Capella ein System von Massen existirt, die sich im Raume mit einer genau oder fast genau gleichen Richtung und Geschwindigkeit, wie die Sonne, bewegen. Die Sonne könnte auch möglicherweise ein Theil dieses Systemes und vielleicht excentrisch in diesem gelegen sein, so dass das Centrum oder der grössere Theil des Systemes sich uns in der erwähnten Richtung zeigte: hierdurch würde es auch verständlich, warum alle oben erwähnten Bahnen nicht einzig und allein von dieser Richtung herkämen, sondern nur in grösserer Menge um sie herum zusammengedrängt seien.

Wie man auch über eine solche Hypothese denken mag, so ist es doch sehr beachtenswerth, dass Mädler gerade in diesem Theile des Himmels ein Minimum der scheinbaren Geschwindigkeiten in den Eigenbewegungen der Fixsterne zu erkennen geglaubt hat. —

Gruppierung der Kometenbahnen. Prof. Hoek hat neuerdings gefunden, dass die Bahnen der Kometen zuweilen in Gruppen angeordnet zu sein scheinen; dies lässt den Gedanken aufkommen, dass die diese Bahnen durchlaufenden Kometen ehemals vielfache Systeme im Raume gebildet hätten. Ich will hier nicht seine Resultate wiederholen, welche durch verschiedene von ihm in verschiedenen Bänden der *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* veröffentlichten Abhandlungen genügend bekannt sind. Diese Gruppierung hat möglicherweise irgend einen Zusammenhang mit einer ähnlichen Erscheinung, welche man bisweilen bei den Meteorbahnen bemerkt und die wir später speciell untersuchen wollen.

Beziehung zwischen der Vertheilung der Perihelidistanzen und der Vertheilung der Richtungen der Kometen- oder Meteorbahnen, welche der Erde begegnen.

Es sei S die Sonne (Fig. 14), T der Beobachter auf der Erde,  $ST = 1$ ; wir wollen mit der Linie PLT irgend eine Kometen- oder Meteorparabel bezeichnen, für welche P das Perihel und  $SP = q$  die Perihelidistanz ist. Der Winkel  $\varphi$ , unter welchem die Parabel den Radius vector trifft, wird mit  $q$  durch die bekannte Relation  $q = \sin^2 \varphi$  verbunden sein; die Menge der verschiedenen Werthe von  $q$  wird also die Menge der verschiedenen correspondirenden Werthe von  $\varphi$  bestimmen, oder mit an-



deren Worten: das Gesetz, nach welchem die Periheldistanzen der Kometen- oder Meteorbahnen variiren, wird das Gesetz der Vertheilung der Richtungen um den Radius vector TS herum bestimmen, in welchen diese Bahnen die Erde treffen. Wir wollen diese Beziehung näher untersuchen.

Lässt man die Figur um TS sich herumdrehen, so wird man begreifen, dass allen Meteorströmen oder allen Kometen, für die man denselben Winkel  $\varphi$  hat, Perihelie entsprechen werden, die auf dem Umfange eines von dem Punkte P um das Centrum Q während der oben erwähnten Umdrehung beschriebenen Kreises gelegen sind. Der Radius dieses Kreises ist  $PQ = q \sin 2\varphi$ .

Für eine andere Parabel, welche  $\varphi + d\varphi$  anstatt  $\varphi$  hat, wie TL'P' erhält man die Periheldistanz  $SP' = q + dq = q + 2 \sin \varphi \cos \varphi d\varphi$  und das Intervall  $P'X = dq = 2 \sin \varphi \cos \varphi d\varphi$ , während wegen des Winkels  $PSP' = 2 d\varphi$  man  $PX = 2 q d\varphi = 2 \sin^2 \varphi d\varphi$  erhält. Alle Parabeln, welche in T zwischen den Richtungen BT und B'T anlangen, haben ihre Perihelie auf der unendlich kleinen Linie PP', deren Länge ist:

$$PP' = \sqrt{dq^2 + 4 q^2 d\varphi^2} = 2 d\varphi \sqrt{\sin^2 \varphi \cos^2 \varphi + \sin^4 \varphi} = 2 \sin \varphi d\varphi.$$

Alle Parabeln, deren Richtungen von T ausgehend zwischen den Kreisen BC und B'C' der um das Centrum T mit dem Radius 1 beschriebenen Kugel hindurchgehen, werden ihre Perihelie auf der konischen Zone haben, welche von PP' bei der Umdrehung um die Axe ST erzeugt wird. Die Oberfläche dieser konischen Zone ist nach der Guldinischen Regel  $2 \pi \times PQ \times PP'$ , oder:

$$2 \pi q \sin 2\varphi \times 2 \sin \varphi d\varphi = 8 \pi d\varphi \sin^4 \varphi \cos \varphi.$$

Nun ist die Dichtigkeit der Perihelie längs dieser Zone eine Function von  $q$ , die wir  $f(q)$  nennen wollen. Die Anzahl der in der Zone enthaltenen Perihelie wird alsdann proportional dem Ausdrücke  $d\varphi \sin^4 \varphi \cos \varphi f(q)$  sein; so viele Ströme wird der Beobachter in T von der zwischen den Kreisen BB' und CC' befindlichen Zone des Himmels herkommen sehen. Da der dieser Zone entsprechende Winkelraum seiner Fläche proportional ist, nämlich  $2 \pi \sin \varphi d\varphi$ , so wird die Dichtigkeit der Parabeln, welche in T ankommen, indem sie mit dem Radius vector den Winkel  $\varphi$  bilden, ausgedrückt werden durch das Verhältniss der Anzahl der Parabeln zu dem Raume, in welchem sie enthalten sind, also durch die Grösse:

$$\frac{d\varphi \sin^4 \varphi \cos \varphi f(q)}{\sin \varphi d\varphi}, \text{ oder durch } f(q) \sin^3 \varphi \cos \varphi.$$

Für die Kometen hat man bei der Annahme, dass alle Distanzen  $q$  gleich wahrscheinlich sind  $f(q) = \frac{1}{q^2}$ \*, das Gesetz der Dichtigkeit der Parabeln in T ist alsdann gegeben durch:

$$\frac{\sin^3 \varphi \cos \varphi}{q^2} = \frac{\sin^3 \varphi \cos \varphi}{\sin^4 \varphi} = \cotg \varphi.$$

Sie ist also in der Richtung nach der Sonne hin unendlich gross (und

---

\*) Wenn in der That in einer sphärischen Schicht um die Sonne (als Mittelpunkt) von dem Radius  $q$  und der Dicke  $dq$  die Anzahl der Perihelie constant ist, wie gross auch immer der Radius  $q$  sein mag, so wird die Dichtigkeit der Perihelie in dieser Schicht der Oberfläche derselben umgekehrt, oder  $\frac{1}{q^2}$  direct proportional sein.



wenn man auf der Parabel den Sinn der Bewegung ändert, auch in der entgegengesetzten Richtung), aber null in den zu dem Radius vector senkrechten Richtungen. Es genügt, unsere Planisphäre auf Taf. II. zu betrachten, um sich zu überzeugen, dass dieses Gesetz auf die Meteorströme nicht anwendbar ist; auf ihr ist die Häufigkeit der Ströme längs des Kreises, welcher  $90^\circ$  von der Sonne absteht, in der That nicht gleich null und keinesweges sehr klein; dagegen ist in dem der Sonne entgegengesetzten Punkte die beobachtete Dichtigkeit sehr klein, während sie nach diesem Gesetze sehr gross sein müsste; hier kann aber die Nichtübereinstimmung von der nördlichen Position des Beobachters herrühren, für welchen die aus dieser Richtung herkommenden Meteorströme nur in den drei letzten Monaten des Jahres bequem zu beobachten sind. Es ist aber meine Pflicht, zu erwähnen, dass die Existenz eines Maximum der Häufigkeit der Meteorströme in der der Sonne entgegengesetzten Richtung durch gewisse Beobachtungen bestätigt zu sein scheint; deshalb möchte ich dieser Note noch einige Worte hinzufügen.

Angenommen, dass ein Maximum der Häufigkeit bei denjenigen Strömen existirt, welche zu der Erde längs der Verlängerung des Radius vectors gelangen, so werden die wahren Positionen der entsprechenden Radianten um den der Sonne entgegengesetzten Punkt zusammengedrängt sein, und die scheinbaren Positionen werden sich, wie man sich leicht aus der im dritten Capitel gegebenen Darlegung überzeugen kann, um denjenigen Punkt der Ekliptik herum verdichten, welcher von der Sonne  $144^\circ 44'$  nach Westen und  $54^\circ 44'$  von dem Apex ebenfalls nach Westen absteht. Dieser Punkt culminirt jede Nacht ungefähr um  $14^h 20^m$  mit kleinen Unterschieden je nach den verschiedenen Jahreszeiten, die man hier wohl vernachlässigen kann. Wir hätten alsdann, ausser dem gewöhnlichen Apex der optischen Verdichtung, welcher ungefähr um  $18^h$  culminirt, einen anderen Punkt der wirklichen Verdichtung, welcher 3 Stunden 40 Minuten früher culminirt. Nach den in dem Capitel über die periodischen Variationen dargelegten Untersuchungen müssten wir also in jeder Nacht die Aufeinanderfolge zweier Maxima des Reichthumes an Sternschnuppen haben, welche, indem sie sich mit einander verbinden, leicht (wenn auch nicht nothwendigerweise) sich in ein einziges, intensiveres Maximum verschmelzen können, dessen Epoche zwischen  $14^h 20^m$  und  $18^h$  fallen würde. Dies würde die Folgerung sein, welche sich für das Gesetz der täglichen Variation der Meteore aus der Anhäufung der Meteorströme um den Radius vector herum ergeben würde.

Coulvier-Gravier hat nun wirklich bei seinen Zählungen das Maximum der Häufigkeit der Meteore um  $15^h$  gefunden, während J. Schmidt aus einer sehr genauen Untersuchung von 1594 Beobachtungsstunden im Mittel für das ganze Jahr  $15^h 12^m$  hergeleitet hat. Dies würde sehr gut mit den vorhergehenden Deductionen übereinstimmen und dem Punkte der physischen oder wirklichen Verdichtung noch eine grössere Wichtigkeit verschaffen, als dem Apex der scheinbaren Verdichtung. Die Zukunft wird zeigen, bis wie weit diese Schlüsse mit der wahren Natur der Dinge übereinstimmen. —

---



## Vierte Note.

### Ueber die Berechnung der Zenithattraction.

Nennt man  $r$  die Entfernung des Punktes  $M$  (Fig. 15) von dem Mittelpunkte der Erde,  $g$  die dieser Entfernung entsprechende Schwere,  $u$  die nicht gestörte relative Geschwindigkeit,  $w$  die beschleunigte Geschwindigkeit in  $M$ , so hat man hier, wie im §. 52:

$$w^2 = u^2 + 2gr \dots (1),$$

wo jedes Mal  $2gr = 124745180$  ist, wenn die angenommenen Einheiten das Meter und die Zeitsecunde sind. Die von dem Meteor während des Falles in einer Secunde um  $O$  beschriebene Fläche ist gleich  $\frac{1}{2}w \times OT$ ,

wobei  $OT$  das von  $O$  auf die Tangente  $TV$  gefällte Perpendikel ist. Nennt man nun  $z$  die scheinbare Zenithdistanz des Radiationspunktes, so wird  $VMZ = OMT = z$ , also  $OT = OM \sin z = r \sin z$  sein. Deshalb wird die in einer Secunde beschriebene Fläche bei der Ankunft in  $M$   $\frac{1}{2}wr \sin z$  sein.

Aus dieser Fläche kann man vermittelst der bekannten Lehrsätze leicht die Elemente der Hyperbel ableiten. Zunächst wird die reelle halbe Axe  $DE$  gegeben durch:

$$a = g \frac{r^2}{u^2} \dots (2).$$

Der Parameter wird sein:

$$a(e^2 - 1) = \frac{1}{g} w^2 \sin^2 z \dots (3)$$

Der Winkel  $ODQ = \psi$  zwischen der Asymptote und der reellen Axe wird gegeben durch:

$$\text{tang } \psi = \frac{uw}{gr} \sin z \dots (4)$$

nun ist aber auch:

$$\cos \psi = \frac{1}{e} \dots (5)$$

Die Entfernung  $CO = s$  der Asymptote vom Erdmittelpunkte ist:

$$s = r \frac{w}{u} \sin z \dots (6)$$

An der Figur 15 kann man verschiedene interessante Relationen bemerken. Aus Formel (2) ergibt sich, dass für alle Meteore eines und desselben Stromes  $a$  oder  $ED$  eine constante Grösse ist; nun ist wegen einer bekannten Eigenschaft der Hyperbel  $DC = ED = a$ ; folglich ist der geometrische Ort der Punkte  $D$ , also der Mittelpunkte aller Hyperbeln des Stromes, die Ebene  $GD$ , welche senkrecht zur ursprünglichen Richtung  $OA$  der Meteore in der Entfernung  $GO = a = \frac{gr^2}{u^2}$  vom Erdmittelpunkte gelegt ist. Da  $O$  für alle Hyperbeln der untere Brennpunkt ist, so erhält man den oberen Brennpunkt  $L$ , indem man  $DL = DO$  macht; der geometrische Ort der oberen Brennpunkte aller Hyperbeln ist offenbar die Ebene  $HL$ , parallel der ersteren und von  $O$  um  $OH = 2a = 2g \frac{r^2}{u^2}$  entfernt.

Wegen einer Grundeigenschaft der Hyperbel muss der Unterschied zwischen den zu den beiden Brennpunkten gezogenen Radien vectoren  $MO$



und  $ML = 2a$  sein, also  $LM = 2a + r = HB$ . Hieraus folgen einfache Constructionen, um den Punkt  $M$  zu finden, in welchem ein Meteor, das im Unendlichen eine gegebene Richtung  $QD$  hat, die Erde trifft; und umgekehrt kann man, wenn der Punkt  $M$  gegeben ist, die Richtung im Unendlichen  $QD$  der auf die Erde fallenden Meteore finden. Ebenso kann man sehr einfache Formeln herleiten, um die Beziehung zwischen der scheinbaren Zenithdistanz  $z$  des Radianten und der wahren  $\zeta$  zu berechnen. Da nämlich  $BOM = NMZ = \zeta$  ist, so hat man offenbar  $MI = r \cos \zeta$ ,  $MK = 2a + r \cos \zeta$ ; und da  $LM = 2a + r$  ist, so ist, wenn man mit  $\theta$  den Winkel  $KML$  bezeichnet  $(2a + r) \cos \theta = 2a + r \cos \zeta$  oder, indem man für  $a$  seinen aus (2) gegebenen Werth setzt und der Formel (1) eingedenk ist:

$$w^2 \cos \theta = 2gr + u^2 \cos \zeta.$$

Nun ist bekannt, dass  $OML = 2OMP = 2z$  ist, da die Tangente  $MP$  den Winkel zwischen den Radien vectoren halbt; andererseits hat man  $OML = OMK + KML = \zeta + \theta$ , also auch  $2z = \zeta + \theta$  oder  $\theta = 2z - \zeta$ . Führt man diesen Werth von  $\theta$  in die vorige Gleichung ein, so erhält man die gesuchte directe Beziehung zwischen  $z$  und  $\zeta$ :

$$w^2 \cos (2z - \zeta) = 2gr + u^2 \cos \zeta;$$

diese kann man noch bedeutend vereinfachen, indem man sie Glied für Glied von (1) abzieht; dies ergibt:

$$w^2 [1 - \cos (2z - \zeta)] = u^2 (1 - \cos \zeta)$$

oder:

$$w \sin (z - \frac{1}{2} \zeta) = u \sin \frac{1}{2} \zeta \dots \dots (7)$$

Aus dieser eleganten Relation erhält man unmittelbar die scheinbare Zenithdistanz  $z$ , wenn die wahre  $\zeta$  gegeben ist. Für das umgekehrte Problem wird es vortheilhafter sein, die Zenithattraction  $\varphi$  direct zu berechnen, also in (7) zu setzen  $\zeta = z + \varphi$ ; hierdurch wird sie umgewandelt in:

$$w \sin \frac{1}{2} (z - \varphi) = u \sin \frac{1}{2} (z + \varphi);$$

hieraus folgt:

$$\text{tang } \frac{1}{2} \varphi = \frac{w - u}{w + u} \text{ tang } \frac{1}{2} z \dots \dots (8)$$

Die Ausdrücke (7) und (8) sind die im Texte erwähnten.

Wenn man mit  $\Phi$  die Zenithattraction im Horizonte bezeichnet, so erhält man ihren Werth, indem man in (8)  $z = 90^\circ$  setzt; dies giebt:

$$\text{tang } \frac{1}{2} \Phi = \frac{w - u}{w + u} \dots \dots (9)$$

oder auch:

$$\text{tang } \left( 45^\circ - \frac{1}{2} \Phi \right) = \frac{u}{w} \dots \dots (10)$$

Die Formel (8) kann man auch schreiben:

$$\text{tang } \frac{1}{2} \varphi = \text{tang } \frac{1}{2} \Phi \text{ tang } \frac{1}{2} z.$$

Da nun im Allgemeinen  $\frac{1}{2} \varphi$  eine sehr kleine Grösse ist (für die parabolischen Bahnen übersteigt sie nicht  $8^\circ 40'$ ), so wird man diesen Winkel mit seiner Tangente vertauschen und sagen können, dass die Zenithattraction mit der Tangente der halben scheinbaren Zenithdistanz zunimmt.

Obgleich in unserem Probleme der grösste zu beobachtende Werth der Zenithattraction  $\Phi$  ist, so erhält man für sie grössere Werthe als  $\Phi$  wenn man in der Formel  $z > 90^\circ$  macht. Das Maximum von  $\varphi$ , welches



aus der Formel hervorgeht, findet statt für  $z = 180^\circ$ ; in diesem Falle hat man auch  $\varphi = 180^\circ$ . Alle diese Werthe von  $\varphi$  entsprechen dem zweiten Schnittpunkte m der Hyperbel mit der Erdkugel (Fig. 15) und setzen voraus, dass die Masse der Erde durchdringlich sei, der Art, dass die Meteore zu dem Beobachter auch unter seinen Füßen von den unter dem Horizonte befindlichen Theilen des Himmels gelangen können. —

Beweis der in §. 58 für die von der Anziehung der Erde hervorgebrachten Verdichtung der Sternschnuppenschauer gegebenen Formel. In einer durch die Axe AO des Sternschnuppenschauers gehenden Ebene (Fig. 17) wollen wir zwei sehr benachbarte Hyperbeln A'B' und A''B'' betrachten. Für die Asymptote von A'B' sei s ihre Entfernung von AO und für die Asymptote von A''B'' sei s + ds diese Entfernung; ds wird offenbar das Intervall der Bahnen im Unendlichen sein. Zwei Meteore, welche in unendlicher Entfernung durch das Intervall ds von einander getrennt sind, werden alsdann die Erde an zwei Punkten treffen, die durch das Intervall B'B'' = r d  $\zeta$  von einander getrennt sind, wenn  $\zeta$  die wahre Zenithdistanz des Radianen im Punkte B' und  $\zeta + d\zeta$  dieselbe Distanz im Punkte B'' ist. Wenn wir daher die Dichtigkeit der Meteorbahnen nur in der Ebene der Figur betrachten, so wird sich offenbar die Dichtigkeit, mit welcher die Meteore die Strecke B'B'' einnehmen, zu der Dichtigkeit, welche sie im Unendlichen in dem zu dem Strome transversalen Sinne haben, verhalten, wie das Intervall ds der Bahnen im Unendlichen zu dem Intervall B'B'', also wie ds : r d  $\zeta$ .

Differentiirt man nun aber (6) und (7), so erhält man :

$$ds = r \frac{w}{u} \cos z \, dz$$

$$2 w \cos (z - \frac{1}{2} \zeta) \, d z = d \zeta \left( w \cos (z - \frac{1}{2} \zeta) + u \cos \frac{1}{2} \zeta \right)$$

Multiplicirt man diese beiden Ausdrücke mit einander Glied für Glied, so erhält man das gesuchte Verhältniss der Dichtigkeiten:

$$\frac{ds}{r d \zeta} = \frac{w}{2u} \cos z \left( \frac{u}{w} \frac{\cos \frac{1}{2} \zeta}{\cos (z - \frac{1}{2} \zeta)} + 1 \right).$$

Eine andere Ursache aber wirkt auf die Dichtigkeit der Meteorfälle ein. Alle Meteore nämlich, welche im Unendlichen sich auf dem Umfange eines Kreises befinden, der mit dem Radius  $s = r \frac{w}{u} \sin z$  um die Axe OA in einer zu ihr senkrechten Ebene beschrieben ist, werden auf die Erde fallen, indem sie auf dem Umfange eines Kreises von dem Radius B'I = r sin  $\zeta$  angeordnet sind; um also die wahre Dichtigkeit der auf die Erde fallenden Meteore zu haben, muss man den ersten Factor  $\frac{ds}{r d \zeta}$

mit  $\frac{s}{r \sin \zeta}$  oder  $\frac{w}{u} \frac{\sin z}{\sin \zeta}$  multipliciren; hieraus folgt endlich das Verhältniss der Dichtigkeit im Unendlichen auf einer zu OA senkrechten Ebene zu der Dichtigkeit der Fallpunkte auf der Erde:

$$\frac{ds}{r d \zeta} \times \frac{w}{u} \frac{\sin z}{\sin \zeta} = \cos z \frac{w^2}{2u^2} \frac{\sin z}{\sin \zeta} \left( \frac{u}{w} \frac{\cos \frac{1}{2} \zeta}{\cos (z - \frac{1}{2} \zeta)} + 1 \right).$$

Ist daher N die Anzahl der Meteore, welche normal auf einen gegebenen



Raum der Erdoberfläche in dem Falle, dass die Erde keine Anziehung ausübte, herabfallen würden, so ist dieselbe Anzahl für einen gleichen Raum der Erdoberfläche, wenn  $z$  die scheinbare Zenithdistanz ist und wenn man die Anziehung der Erde berücksichtigt:

$$N \cos z \times \frac{1}{2} \frac{w^2 \sin z}{u^2 \sin \zeta} \left( \frac{u}{w} \frac{\cos \frac{1}{2} \zeta}{\cos (z - \frac{1}{2} \zeta)} + 1 \right).$$

In diesem Ausdrucke ist  $\cos z$  der von der Schrägheit des Einfallens herführende Factor; der andere Theil des Ausdruckes ist der Factor  $F$ , welcher die von der Erdanziehung hervorgebrachte Verdichtung ausdrückt und von dem im Texte näher verhandelt ist. —

## Fünfte Note.

### Ueber die Bestimmung der Radiationspunkte durch die Beobachtungen.

Zur Bestimmung der Position eines Radianten pflegt man auf einem Globus oder auf einer Himmelskarte in gnomonischer Projection die beobachteten Bahnen aufzuzeichnen, von denen man glaubt, dass sie diesem Radianten angehören; hierauf sucht man den Punkt, welcher sich allen rückwärts verlängerten Bahnen am besten anpasst.

Bei dieser Operation sind also zwei Hauptmomente zu betrachten: das in seinen Folgen wichtigste, aber auch das schwierigste ist das erste, die Auswahl der Bahnen. Man stösst hier auf die bedeutendsten Hindernisse, die von der häufigen Unsicherheit herrühren, in welcher sich der Beobachter über die Opportunität befindet, ein gegebenes Meteor als Grundlage für seine Bestimmungen anzunehmen, oder nicht. Nicht weniger beschwerlich ist die Nothwendigkeit (die oft von der geringen Anzahl und von der ungenügenden Genauigkeit der Beobachtungen auferlegt ist), einen Radianten als einen einzigen zu betrachten, welcher sich vielleicht in mehrere gleichzeitig thätige Radianten zerlegen lässt, oder welcher, statt eines Punktes, eine Linie oder eine Fläche von bedeutender Ausdehnung sein kann. Hierbei hat der Beobachter keine andere Garantie, als sein eigenes Kriterium; von der Art und Weise, dieses anzuwenden, hängt wesentlich die Güte des Resultates ab. —

Nachdem man bestimmt hat, welche Bahnen man verwenden kann, muss man die wahrscheinlichste Position des Radianten ableiten. Auch hier hege ich die Ansicht, dass viel mehr durch das Auge eines geübten Zeichners, als durch alle Rechnungsmethoden geleistet wird. Wer Hunderte von diesen Bestimmungen vorgenommen hat, kann allein über die unendliche Mannichfaltigkeit der hier sich darbietenden Fälle urtheilen, deren Lösung dem unbeugsamen Mechanismus der analytischen Verfahrensweisen nicht anvertraut werden kann. Zuweilen muss als Norm für den auszuwählenden Punkt seine Entfernung von den Verlängerungen der Bahnen dienen; bei anderen Gelegenheiten dagegen seine Position in Bezug auf die Anfangspunkte der Bahnen. Die Längen der Bahnen in den, von dem Meteorschauer eingenommenen, verschiedenen Theilen des Him-



mels sind ferner ein nicht zu missachtendes Element der Untersuchung: die kürzesten und kaum sichtbaren Bahnen sind im Allgemeinen ein sicheres Anzeichen dafür, dass der Radiant in grosser Nähe von dem Orte ist, wo sie sich zeigen. Zezioli hat nach diesem einzigen Kriterium in seinen Beobachtungsregistern öfters Positionen von Radianten angedeutet, welche durch spätere Untersuchungen von grösseren Meteoren sich hernach in glänzender Weise bestätigten. Man hat also hier noch etwas Anderes, als ein einfaches algebraisches Problem.

Wenn es sich aber um die Bestimmung des Radiationspunktes mit Berücksichtigung seiner von der Anziehung der Erde herrührenden scheinbaren Bewegung handelt, so wird es sehr schwer, blos mit dem Auge die vortheilhafteste Lage desselben zu beurtheilen. In diesem Falle kann die Beihülfe der Rechnung nützlich sein, um die Unsicherheiten zu beseitigen. Alsdann scheint das vortheilhafteste Kriterium darin zu bestehen, dass die Summe der Quadrate der Entfernungen jeder dieser Bahnen von dem entsprechenden Punkte der in dem Texte beschriebenen ovalen Curve die kleinstmögliche sei. Wenn (wie es immer geschieht) die von dem Radianten und von den Perpendikeln eingenommene Gegend des Himmels nicht sehr ausgedehnt ist, so kann man das Problem einfach, als ob diese ganze Gegend eine Ebene wäre, betrachten. Dies macht die Lösung einfacher.

Man zeichne nun in der erwähnten Ebene die Verlängerungen der Bahnen\*); ihre Gleichungen, bezogen auf zwei rechtwinklige Axen, seien:

$$y = x \tan \theta + b; y = x \tan \theta' + b'; y = x \tan \theta'' + b'' \text{ etc.}$$

Man nenne  $X, Y$  die unbekannten Coordinaten der wahren Position des Radianten. Durch diesen lege man zwei Axen, parallel der ersten; es seien  $\xi, \eta$  die Coordinaten in Bezug auf das neue System für den Punkt des Ovals, welcher dem Meteore entspricht, für welchen man die Bahn  $y = x \tan \theta + b$  hat. Ebenso seien, in Bezug auf dieselben Axen,  $\xi', \eta'$  die Coordinaten des Punktes des Ovals, welcher der Bahn  $y' = x \tan \theta' + b'$  entspricht. Dasselbe kann man für  $\xi'', \eta'', \xi''', \eta'''$  etc. sagen. Da die Position des Ovals und seine Richtung in Bezug auf die wahre Position des Radianten bekannt sind, so kann man  $\xi, \xi', \xi'' \dots$  und  $\eta, \eta', \eta'' \dots$  als bekannte und auf der Zeichnung leicht zu messende Grössen betrachten.

Die Coordinaten der verschiedenen Punkte des Ovals in Bezug auf die ursprünglichen Axen werden alsdann für das erste Meteor offenbar  $X + \xi, Y + \eta$  sein, für das zweite  $X + \xi', Y + \eta'$  u. s. w. Der senkrechte Abstand des Punktes  $X + \xi, Y + \eta$  von der entsprechenden Bahnlinie  $y = x \tan \theta + b$  wird sein:

$$P = (Y + \eta) \cos \theta - (X + \xi) \sin \theta - b \cos \theta;$$

Für die anderen senkrechten Abstände hat man analoge Ausdrücke

$$P' = (Y + \eta') \cos \theta' - (X + \xi') \sin \theta' - b' \cos \theta'$$

$$P'' = (Y + \eta'') \cos \theta'' - (X + \xi'') \sin \theta'' - b'' \cos \theta'' \text{ etc.}$$

Die Gleichungen des Minimum von  $\sum P^2$  zur Bestimmung von  $X$  und  $Y$  werden daher sein:

$$0 = \sum P \frac{dP}{dX} = - \sum P \sin \theta; 0 = \sum P \frac{dP}{dY} = \sum P \cos \theta.$$

Hieraus kann man schliessen, dass, wenn das Oval (und mit ihm die wahre Position des Radianten) die wahrscheinlichste Lage hat, die Summe

\*) Man wird gut thun, in grossem Maassstabe eine Karte allein von derjenigen Gegend des Himmels zu zeichnen, in welcher sich der Radiant und die ihm nächsten Theile der Bahnen befinden.



der Projectionen der von den entsprechenden Punkten des Ovals auf die Bahnlinien gefällten Perpendikel gleich null ist. Hieraus kann man nun folgende Lösung des Problems herleiten.

Man stelle über die wahre Position des Radianen drei auf einander folgende Hypothesen auf, indem man ihm successive folgende Coordinaten giebt:

$$x, y; x + \Delta x, y; x, y + \Delta y;$$

nimmt man nun an, dass man nach jeder dieser drei Hypothesen durch Abmessung der Projectionen der Senkrechten P gefunden habe:

$$\text{nach Hypothese I: } \sum P \sin \theta = S, \quad \sum P \cos \theta = T$$

$$\text{„ II: } \sum P \sin \theta = S + \Delta S, \quad \sum P \cos \theta = T + \Delta T$$

„ III:  $\sum P \sin \theta = S + \Delta' S, \quad \sum P \cos \theta = T + \Delta' T;$   
so werden die Gleichungen, welche die wahrscheinlichsten Werthe  $X = x + (x), Y = y + (y)$  bestimmen werden, folgende für  $(x)$  und  $(y)$  sein:

$$0 = S + (x) \frac{\Delta S}{\Delta x} + (y) \frac{\Delta' S}{\Delta y}$$

$$0 = T + (x) \frac{\Delta T}{\Delta x} + (y) \frac{\Delta' T}{\Delta y}.$$

Nach dieser genügend schnellen graphischen Methode wurden im Texte die wahrscheinlichsten Coordinaten des Radianen No. 19 unseres Kataloges berechnet. —

## Sechste Note.

### Geometrische Theorie der täglichen und jährlichen Variationen der Häufigkeit der Sternschnuppen.

Nimmt man als Fundamentalthatsache an, dass die Häufigkeit der Sternschnuppen mit der Entfernung des Apex vom Zenith des Beobachters abnimmt, so dass sie das Maximum erreicht, wenn der Apex mit dem Zenith zusammenfällt, und das Minimum, wenn der Apex sich im Nadir des Beobachters befindet, so wird die Function, welche die Beziehung zwischen der Häufigkeit  $F$  und der Zenithdistanz  $Z$  des Apex ausdrückt, periodisch in Bezug auf  $Z$  sein, nicht mit dem Wechsel des Vorzeichens von  $Z$  sich verändern und während eines vollen Umlaufes von  $Z$  ein einziges Maximum und ein einziges Minimum enthalten müssen, die von einander um  $180^\circ$  abstehen. Die einfachste Function, welche allen diesen Bedingungen gleichzeitig genügt, ist, wenn man als Einheit der Häufigkeit die mittlere Häufigkeit aller derjenigen nimmt, welche stattfinden können:

$$F = 1 + A \cos Z \dots (1),$$

worin  $A$  eine Constante ist, welche von den geometrischen und physischen Bedingungen der Frage abhängt, und in erster Linie von dem Verhältniss zwischen der Bahngeschwindigkeit der Erde und der absoluten Geschwindigkeit der Meteore im Raume\*). —

\*) In meinem ersten Briefe an P. Secchi habe ich a priori zu bewei-



Die numerischen Angaben der Mengen der Sternschnuppen in einer gegebenen Stunde, welche in §. 70 angeführt wurden, sind nichts Anderes als die Mittel der an allen Tagen des Jahres während dieser bestimmten Stunde beobachteten Mengen. Derselben Stunde des Tages entsprechen aber verschiedene Höhen des Apex, je nach den Jahreszeiten. Um diesen Umstand in die Rechnung einzuführen, erwäge man, dass der Apex den Kreis der Ekliptik mit fast gleichförmiger Bewegung durchläuft, indem er in Länge hinter der Sonne um einen Winkel zurückbleibt, welcher von einem Rechten um nie mehr als einen Grad abweicht. Wenn wir daher den Anfang der Zeiten in das Sommersolstitium setzen, so wird die Länge  $\lambda$  des Apex eine der Zeit ungefähr proportionale Grösse sein und das Increment der Zeit kann durch das Increment  $d\lambda$  gemessen werden.

Es sei in Figur 21 PZM der Meridian des Beobachters, S die Sonne, P der Himmelspol, Z das Zenith, ASM die Ekliptik, A der Apex. Der Stundenwinkel der Sonne, oder die wahre Zeit wird sein  $MPS = \theta$ . Aus den angeführten Gründen setzen wir den Bogen SA der Ekliptik constant gleich  $90^\circ$ . Der Winkel APS am Pole des Aequators wird, allgemein zu reden, von  $90^\circ$  verschieden sein: nach einer Rechnung, welche hier ausführlich mitzutheilen unnütz ist, finde ich, dass sein grösster Werth im Jahre  $94^\circ 56'$ , sein kleinster  $85^\circ 4'$  ist. Er kann, ohne dass man Gefahr läuft, um mehr als eine oder zwei Minuten zu irren, nach der Formel  $APS = 90^\circ + (4^\circ 56') \sin 2\lambda$  berechnet werden. Bezeichnet man der Kürze halber die Constante  $4^\circ 56'$  mit  $a$ , so kann der Winkel APZ durch  $90^\circ + \theta + a \sin 2\lambda$  ausgedrückt werden. Von den beiden Seiten, welche in dem Dreiecke PZA diesen Winkel bilden, also von PZ und PA, ist die erste das Complement der Breite des Beobachtungsortes, wir wollen sie  $90^\circ - \omega$  nennen; die andere ist die Poldistanz des Apex; wir können sie aus einer bekannten Formel  $\cos PA = \sin \lambda \sin \varepsilon$  erhalten, wobei  $\varepsilon$  die Schiefe der Ekliptik ist. In demselben Dreiecke ZPA ist die Seite ZA die Zenithdistanz des Apex, die wir Z genannt haben. Wir haben also:

$$\cos Z = \sin \omega \cos PA + \cos \omega \sin PA \cos (90^\circ + \theta + a \sin 2\lambda).$$

In diesem Ausdrücke setzen wir für  $\cos PA$  seinen Werth  $\sin \lambda \sin \varepsilon$ , für  $\sin PA$  die beiden ersten Glieder der Reihentwicklung:

$$\sqrt{1 - \cos^2 PA} = \sqrt{1 - \sin^2 \lambda \sin^2 \varepsilon} = 1 - \frac{1}{2} \sin^2 \lambda \sin^2 \varepsilon + \dots,$$

was für unseren Zweck genügt, da  $\sin \varepsilon$  ein hinreichend kleiner Bruch ist. Ferner setzen wir für  $\cos (90^\circ + \theta + a \sin 2\lambda)$  sein Aequivalent  $-\sin (\theta + a \sin 2\lambda)$ ; dieser Ausdruck lässt sich entwickeln, wenn man  $a \sin 2\lambda$  als Differentialgrösse betrachtet; dies giebt:

$$\cos (90^\circ + \theta + a \sin 2\lambda) = -\sin \theta - a \sin 2\lambda \cos \theta.$$

sen versucht, dass die Form (1) des Ausdruckes von F nothwendig die, welche in der Natur stattfindet, sein müsse, und dass die Constante A genau gleich der Grösse der Bahngeschwindigkeit der Erde, getheilt durch die absolute Geschwindigkeit der Meteore im Raume, sei. Diese Theorie aber berücksichtigte viele sehr wichtige Umstände nicht, welche den Werth von A und die Form der Function beeinflussen; daher haben die aus derselben hergeleiteten Resultate kein Gewicht. Nur durch eine zufällige Compensation der bei dieser Rechnung vernachlässigten Umstände ist es gekommen, dass die letzte Schlussfolgerung (die parabolische Geschwindigkeit der Meteore) nur wenig von der Wahrheit verschieden gefunden ist. Nichts desto weniger hat diese Theorie das Verdienst gehabt, die erste Gelegenheit zur Vermuthung einer Beziehung zwischen den Kometen und Sternschnuppen gegeben zu haben.



Durch diese Vereinfachungen erhält man:

$$\cos Z = \sin \omega \sin \lambda \sin \varepsilon - \cos \omega \left(1 - \frac{1}{2} \sin^2 \lambda \sin^2 \varepsilon\right) (\sin \theta + a \sin^2 \lambda \cos \theta).$$

Führt man diesen Werth von  $\cos Z$  in die Formel (1) ein, multiplicirt man ihn mit  $d\lambda$  und integrirt man in Bezug auf  $\lambda$  innerhalb der Grenzen 0 und  $2\pi$  (indem man also das Integral auf die Beobachtungen des ganzen Jahres ausdehnt) und dividirt man alsdann das Resultat durch  $2\pi$ , so erhält man die Zahl, welche die mittlere jährliche, der Stunde  $\theta$  in wahrer Zeit an dem Orte unter der Breite  $\omega$  entsprechende, Häufigkeit ausdrückt, durch folgende Formel:

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} d\lambda (1 + A \cos Z) = 1 - A \cos \omega \sin \theta \left(1 - \frac{1}{4} \sin^2 \varepsilon\right).$$

Hier drückt die Einheit die mittlere absolute Häufigkeit aus, d. h. diejenige, welche sich für alle Epochen des Jahres und alle Stunden des Tages im Durchschnitt ergibt.

Bezeichnet man mit  $K$  die mittlere absolute stündliche Anzahl, also die Anzahl der Sternschnuppen, welche man im Mittel während einer beliebigen Stunde des Jahres beobachtet, so wird die mittlere Anzahl derjenigen Sternschnuppen, welche man innerhalb einer Stunde, die mit  $\theta - 30$  Minuten beginnt und mit  $\theta + 30$  Minuten endigt, beobachtet, (mit einem gänzlich zu vernachlässigenden Fehler) ausgedrückt werden können durch:

$$K \left(1 - A \cos \omega \sin \theta \left(1 - \frac{1}{4} \sin^2 \varepsilon\right)\right) \dots (2).$$

Man sieht aus diesem Ausdrucke, dass (im Mittel für das ganze Jahr genommen) die stündliche Anzahl der Sternschnuppen am Pole constant ist, und dass ihre beträchtlichsten Oscillationen während eines Tages für die Bewohner des Aequators stattfinden.

Will man die Formel (2) mit den in §. 70 angeführten Beobachtungen von Coulvier-Gravier vergleichen, so nehme man für  $\omega$  die Breite von Paris  $48^\circ 50'$  und setze  $\varepsilon = 23^\circ 27'$ ; alsdann hat man für die stündliche Anzahl von  $\theta - 30$  Min. bis  $\theta + 30$  Min.:

$$N = K (1 - 0,632 A \sin \theta) \dots (3).$$

Dieser Formel müssten sich die Zahlen von Coulvier-Gravier anpassen, wenn die von ihm bei seinen Beobachtungen gebrauchten Angaben der Zeit sich auf wahre Zeit bezögen. Er hat aber wahrscheinlich statt dessen mittlere Zeit genommen; dies kann indessen keine merkliche Differenz hervorbringen, hauptsächlich deshalb, weil die Summe der Verzögerungen der einen Zeit in Bezug auf die andere im Laufe eines ganzen Jahres gleich null ist. Daher compensiren sich die aus dieser Ursache entspringenden Fehler zum grossen Theile und sind für unsern Fall sicherlich zu vernachlässigen. Aber ein anderer wesentlicherer Umstand muss in Rechnung gezogen werden; nicht alle von Coulvier-Gravier gegebenen Zahlen sind aus Beobachtungen abgeleitet, welche sich über das ganze Jahr in gleichförmiger Weise erstrecken. Dies kann man, bis zu einem gewissen Punkte, für die Zahlen annehmen, welche von  $9^h$  bis  $15^h$  reichen, da die Sonne in diesen Stunden in dem Klima von Paris immer genügend tief unter dem Horizonte sich zu befinden scheint: für die anderen aber haben offenbar die Abend- und Morgenstunden des Sommers nicht in Rechnung kommen können: z. B. die erste Zahl von  $5^h$  bis  $6^h$  und die letzte von  $18^h$ — $19^h$  stützen sich gewiss nur auf Beobachtungen in den dem Wintersolstitium nächsten Monaten. Für diese Stunden also, in denen es nur in einem Theile des Jahres Nacht ist, kann man die Berechnung der stündlichen Anzahl von Coulvier-Gravier nicht nach der Formel (3) vornehmen, welche sich über das ganze Jahr erstreckt.



Mit Berücksichtigung der Dauer der Tageslängen und der Dämmerungen in dem Klima von Paris habe ich angenommen, dass die zwischen 5<sup>h</sup> und 6<sup>h</sup> und zwischen 18<sup>h</sup> und 19<sup>h</sup> angestellten Beobachtungen sich über zwei Monate erstrecken, einen Monat vor und einen nach dem Winter-solstitium, dass die Beobachtungen zwischen 6<sup>h</sup> und 7<sup>h</sup> und zwischen 17<sup>h</sup> und 18<sup>h</sup> sich über vier Monate erstrecken; dass man von 7<sup>h</sup>—8<sup>h</sup> und von 16<sup>h</sup>—17<sup>h</sup> sechs Monate hindurch beobachten könne, und dass man endlich während acht Monate die Sternschnuppen von 8<sup>h</sup>—9<sup>h</sup> und von 15<sup>h</sup>—16<sup>h</sup> zählen könne. Indem ich dieser Hypothese die Grenzen des Integrals  $\int d\lambda (1 + A \cos Z)$  anpasste, fand ich, dass die Zahlen von Coulvier-Gravier auch noch durch die Formel (3) ausgedrückt werden können, wenn man den numerischen Coefficienten 0,632 etwas abändert; er wird nämlich in den vier kurz zuvor angeführten Fällen respective 0,653; 0,642; 0,632; 0,626. Vergleicht man daher im Ganzen die theoretischen Werthe mit den beobachteten, so erhält man folgende vierzehn Bedingungsgleichungen:

| Stündliche Intervalle.         | Correspondirende Gleichungen.                             |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 5 <sup>h</sup> —6 <sup>h</sup> | 7,2 = K (1—0,653 A sin 5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> h)   |
| 6 —7                           | 6,5 = K (1—0,642 A sin 6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> h)   |
| 7 —8                           | 7,0 = K (1—0,632 A sin 7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> h)   |
| 8 —9                           | 6,3 = K (1—0,626 A sin 8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> h)   |
| 9 —10                          | 7,9 = K (1—0,632 A sin 9 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> h)   |
| 10 —11                         | 8,0 = K (1—0,632 A sin 10 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> h)  |
| 11 —12                         | 9,5 = K (1—0,632 A sin 11 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> h)  |
| 12 —13                         | 10,7 = K (1—0,632 A sin 12 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> h) |
| 13 —14                         | 13,1 = K (1—0,632 A sin 13 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> h) |
| 14 —15                         | 16,8 = K (1—0,632 A sin 14 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> h) |
| 15 —16                         | 15,6 = K (1—0,626 A sin 15 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> h) |
| 16 —17                         | 13,8 = K (1—0,632 A sin 16 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> h) |
| 17 —18                         | 13,7 = K (1—0,642 A sin 17 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> h) |
| 18 —19                         | 13,0 = K (1—0,653 A sin 18 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> h) |

Aus diesen Gleichungen erhielt ich die mittlere absolute stündliche Anzahl  $K = 10,65$  und den Werth der Constante  $A = 0,691$ . Führt man diese Werthe in die obigen Gleichungen ein, so kann man die stündlichen Zahlen nach der Theorie berechnen und sie mit den beobachteten Zahlen vergleichen, wie man hier unten sieht:

| Intervalle.                    | Stündliche Zahlen |            | Fehler       |
|--------------------------------|-------------------|------------|--------------|
|                                | berechnet         | beobachtet | Beob. — Ber. |
| 5 <sup>h</sup> —6 <sup>h</sup> | 5,90              | 7,2        | + 1,30       |
| 6 —7                           | 5,97              | 6,5        | + 0,53       |
| 7 —8                           | 6,36              | 7,0        | + 0,64       |
| 8 —9                           | 7,00              | 6,3        | — 0,70       |
| 9 —10                          | 7,83              | 7,9        | + 0,07       |
| 10 —11                         | 8,87              | 8,0        | — 0,87       |
| 11 —12                         | 10,05             | 9,5        | — 0,55       |
| 12 —13                         | 11,25             | 10,7       | — 0,55       |
| 13 —14                         | 11,43             | 13,1       | + 0,67       |
| 14 —15                         | 13,47             | 16,8       | + 3,33       |
| 15 —16                         | 14,30             | 15,6       | + 1,30       |
| 16 —17                         | 14,94             | 13,8       | — 1,14       |
| 17 —18                         | 15,33             | 13,7       | — 1,63       |
| 18 —19                         | 15,40             | 13,0       | — 2,40       |

Ich habe dieselbe Rechnung für die stündlichen Zahlen des Director J. Schmidt wiederholt, die ich ebenfalls in §. 70 angeführt habe, mit dem einzigen Unterschiede aber, dass ich für die Breite des Beobachtungsortes



die von  $45^\circ$  angenommen habe, welche mir dem Mittel von allen Breiten zu entsprechen schien, unter denen die von ihm zur Bestimmung der Zahlen verwendeten Beobachtungen angestellt sind. Es resultirt daraus  $K = 12,24$ ;  $A = 0,839$ . Der Vergleich der berechneten Werthe mit den beobachteten ergibt sich wie folgt:

| Intervalle.                     | Stündliche Zahlen |            | Fehler       |
|---------------------------------|-------------------|------------|--------------|
|                                 | berechnet         | beobachtet | Beob. — Ber. |
| 5 <sup>h</sup> — 6 <sup>h</sup> | 5,33              | 4,17       | — 1,16       |
| 6 — 7                           | 5,33              | 5,33       | $\pm$ 0,00   |
| 7 — 8                           | 5,80              | 5,72       | — 0,08       |
| 8 — 9                           | 6,71              | 6,67       | — 0,04       |
| 9 — 10                          | 8,00              | 7,88       | — 0,12       |
| 10 — 11                         | 9,57              | 9,53       | — 0,04       |
| 11 — 12                         | 11,35             | 11,58      | + 0,23       |
| 12 — 13                         | 13,13             | 14,07      | + 0,94       |
| 13 — 14                         | 14,91             | 16,32      | + 1,41       |
| 14 — 15                         | 16,48             | 17,91      | + 1,43       |
| 15 — 16                         | 17,77             | 18,21      | + 0,44       |
| 16 — 17                         | 18,68             | 18,75      | + 0,07       |
| 17 — 18                         | 19,15             | 14,92      | — 4,23       |

Sowohl in dieser Reihe, wie in der von Coulvier-Gravier, stimmt die Berechnung mit der Theorie für die Abendstunden sehr gut überein und auch die in den Morgenstunden übrig bleibenden Differenzen sind nicht der Art, dass sie nicht zum Theil den bei dieser Art von statistischen Angaben unvermeidlichen Unregelmässigkeiten könnten zugeschrieben werden. Immerhin ist es bemerkenswerth, dass die übrigbleibenden Differenzen nach einem gewissen Gesetze fortschreiten und dass ihr Gang in beiden Reihen fast parallel ist. Ein Theil dieser Einwirkung könnte einfach davon herrühren, dass wir nicht wissen, ob bei der Berechnung der letzten Morgenstunden die während der Morgendämmerung gemachten Zählungen genau ausgeschlossen sind\*).

Die Folge nun, welche man aus diesem Nichtausschliessen solcher Zählungen ableiten kann, ist natürlich die, dass es die stündlichen Zahlen des letzten Theiles der Nacht geringer erscheinen lässt, als sie in Wahrheit sind, und dass es das Maximum der Häufigkeit weiter zurück weichen lässt, welches nach der im Texte entwickelten Theorie um 18<sup>h</sup> stattfinden müsste. Bei sorgfältiger Erwägung der Einzelheiten der in Athen von Schmidt und seinen Mitarbeitern gemachten Beobachtungen scheint diese Anticipation des Maximum immerhin einige Begründung in der Natur zu haben; sicherlich verdient dieser Umstand besser untersucht und zum Gegenstande sorgfältiger Beobachtungen gemacht zu werden. Man könnte dann hieraus sehr wichtige Inductionen über die Vertheilung der Perihelie der Meteorbahnen um die Sonne erhalten, wie der Leser am Ende der dritten Note ersehen kann, wo sich weitere Einzelheiten über diesen interessanten Gegenstand befinden\*\*).

\*) Bei den Beobachtungen von Athen ist es gewiss, dass diese Zählungen nicht immer mit aller Strenge ausgeschlossen worden sind, wie man erkennen kann, wenn man einen Blick auf die Tabelle der Zählungen wirft, welche sich auf pag. 50 der Abhandlung von Schmidt *Astronom. Beob. über Meteorbahnen* befindet.

\*\*) Man könnte vielleicht einen Grund dieser Anomalie in der Form der Function (1) suchen, welche von der in der Natur wirklich stattfinden-



Aus den oben entwickelten Formeln kann man auch leicht die jährliche Variation der Meteore herleiten. Wenn wir in der That die Berechnung des Integrals  $\int d\lambda (1 + A \cos Z)$  von dem Sommersolstitium bis zum Wintersolstitium ausdehnen, also von  $\lambda = 0$  bis  $\lambda = \pi$ , so finden wir, dass wir zu der mittleren Zahl  $K$  des ganzen Jahres die Grösse  $\frac{2K}{\pi} A \sin \omega \sin \varepsilon$  hinzufügen müssen; auf ähnliche Weise erhält man die absolute mittlere stündliche Anzahl von dem Wintersolstitium bis zum Sommersolstitium, indem man dieselbe Grösse von der Zahl  $K$  abzieht. Auf diese Weise ist das Verhältniss der Anzahl der Sternschnuppen, welche in der ersten Periode fallen, zu der Anzahl der in der zweiten Periode herabfallenden, gegeben durch:

$$R = \frac{1 + \frac{2}{\pi} A \sin \omega \sin \varepsilon}{1 - \frac{2}{\pi} A \sin \omega \sin \varepsilon};$$

man erkennt sofort, dass dies Verhältniss mit der Breite des Ortes variirt. Am Pole, wo die tägliche Variation null ist, ist die jährliche Variation der Sternschnuppen am grössten: am Aequator erfolgt das Gegentheil. Nimmt man für  $A$  den Werth 0,691, welcher aus den Beobachtungen von Couvier-Gravier hervorgeht, so findet man für Paris  $R = 1,305$ . Nimmt man dagegen für  $A$  den Werth 0,839, welcher aus den Zahlen von Schmidt hervorgeht, so erhält man für die Breite von  $45^\circ$   $R = 1,357$ . Diese Verhältnisse sind bedeutend kleiner als die durch die Beobachtungen gegebenen und in §. 71 erwähnten. Dies muss man (wenigstens zum Theil) den Perioden Juli, August, October und December zuschreiben, welche alle dem zweiten Semester angehören und nicht gestatten, aus den Beobachtungen irgend eine regelmässige Deduction über die jährliche Variation ableiten zu können. Ihre Einwirkung auf die Störung des Gesetzes der täglichen Variation ist viel geringer.

## Siebente Note.

Ueber die Wahrscheinlichkeit der hyperbolischen Bahnen für die aus den Sternenräumen in das Innere des Sonnensystemes gelangenden Körper.

Wir wollen hier einen an den Grenzen der Attractionssphäre der Sonne befindlichen Theil des Himmelsraumes betrachten, dessen scheinbarer Durchmesser für unser Auge aber nicht sehr gross ist, weil seine in Wirklichkeit sehr beträchtlichen Dimensionen, in Bezug auf seine Entfernung

den abweichen könnte. Da aber in jedem Falle diese Form ein Maximum der Meteore bei der grössten Höhe des Apex geben muss und diese grösste Höhe stets um  $18^h$  stattfinden muss, so ersieht man, dass, wie man auch immer den analytischen Ausdruck dafür verändern mag, man nie das durch die Beobachtungen angezeigte Rückschreiten des Maximum erhalten kann.



von uns als sehr klein anzusehen sind: wir wollen ferner annehmen, dass in diesem Theile des Raumes eine grosse Anzahl von Körpern sich bewege, die uns wegen ihrer Entfernung und Kleinheit unsichtbar sind und bei denen es für jetzt nicht darauf ankömmt, ihre Grösse und Art zu bestimmen. Nehmen wir endlich an, dass diese Körper Eigenbewegungen von derselben Art, wie die Fixsterne, besitzen, und Geschwindigkeiten von derselben Grössenklasse, aber mit sehr verschiedenen Richtungen, und dass eine gewisse Anzahl dieser Körper (ohne Zweifel sehr wenige im Vergleich zu ihrer Gesamtanzahl) unter dem Einflusse der Sonnenattraction bis in die inneren Grenzen unseres Systemes gelangt, so fragt es sich, welche die vorherrschende Form der von diesen Körpern um die Sonne beschriebenen Kegelschnitte sein wird. —

Um dieses Problem zu lösen, denken wir uns die Geschwindigkeiten der einzelnen Körper nach drei beliebigen Coordinatenaxen zerlegt. Man wird alsdann die mittlere aller Componenten nach jeder der drei Axen als die allgemeine Geschwindigkeit annehmen können, mit welcher das System dieser Körper in der Richtung dieser Axe fortschreitet. Setzt man die so erhaltenen drei mittleren Geschwindigkeiten zu einer einzigen Resultante zusammen, so wird diese in Grösse und Richtung die allgemeine Geschwindigkeit des Systemes sein, oder die Geschwindigkeit, welche man als allen diesen Körpern gemeinsam betrachten kann: wir wollen sie mit  $\Delta$  bezeichnen. Zerlegt man nun die Bewegung jedes Körpers in zwei Bewegungen, von denen die eine gleich und parallel  $\Delta$  ist, so wird die andere Componente die specielle Bewegung dieses Körpers ausdrücken.

Wir werden aus unseren Betrachtungen die allgemeine Bewegung  $\Delta$  eliminiren können, indem man allen diesen Körpern, auch unserer Sonne, eine Geschwindigkeit —  $\Delta$  zuschreibt, die  $\Delta$  gleich und entgegengesetzt ist. Alsdann wird man das Körpersystem als fest betrachten können und nur mit inneren oder speciellen Bewegungen begabt, während die Sonne im Raume mit einer aus der Combination ihrer Eigenbewegung mit der Bewegung —  $\Delta$  resultirenden Bewegung fortrücken wird.

Es sei nun in dem von dem Körpersysteme eingenommenen Raume (Fig. 30) O ein beliebiger Punkt; man stelle sich durch ihn gelegt die Geraden  $OP_1, OP_2, OP_3, \dots$  vor, welche in Grösse und Richtung die Geschwindigkeiten der speciellen Bewegungen aller in Betracht kommenden Körper vorstellen. Jeder der Punkte  $P_1, P_2, P_3, \dots$  wird durch seine Position in Bezug auf O eine Vorstellung von der besonderen Bewegung des entsprechenden Körpers geben; der Kürze halber wollen wir  $P_1, P_2, P_3, \dots$  die Bildpunkte der betreffenden Körper nennen. Nach einem bekannten Lehrsatz der Statik wird der Punkt O der Schwerpunkt aller Bildpunkte sein: dies bringt nothwendigerweise in der Vertheilung um O herum eine gewisse Symmetrie hervor. Nehmen wir nun an, dass die Anzahl dieser Körper sehr gross sei, so werden ihre Bildpunkte um O herum eine Art von Wolke bilden, welche einen begrenzten Raum einnimmt, und in diesem Raume mit einer wahrscheinlich unregelmässigen und von einem Orte zum andern veränderlichen Dichtigkeit vertheilt sein, wobei stets die Bedingung bewahrt bleibt, dass O der Schwerpunkt dieser Wolke ist.

Ziehen wir nun durch O die Gerade  $O\Sigma$ , gleich und parallel der Bewegung der Sonne, die, wie wir oben gesagt haben, aus der Zusammensetzung ihrer eigenen Bewegung mit der Geschwindigkeit —  $\Delta$  hervorgeht, so wird  $\Sigma$  der Bildpunkt der Sonne sein. Zieht man alsdann die Geraden  $\Sigma P_1, \Sigma P_2, \Sigma P_3, \dots$  zu den Bildpunkten der einzelnen Körper, so werden diese Geraden in Grösse und Richtung die Geschwindigkeiten darstellen, welche jeder Körper in Bezug auf die Sonne hat. Die Vertheilung aller



Bildpunkte um  $\Sigma$  herum wird das Gesetz anzeigen, nach welchem diese relativen Bewegungen vertheilt sind. Nun sind diese Geschwindigkeiten  $\Sigma P_1, \Sigma P_2, \Sigma P_3 \dots$  gerade diejenigen, welche wir in der gegenwärtigen Frage zu betrachten haben.

Es sei  $M$  der Bildpunkt eines der Körper,  $\Sigma M$  seine Geschwindigkeit in Bezug auf die Sonne, welche wir  $v$  nennen wollen; es sei  $\varphi$  der Winkel  $M\Sigma S$ , welchen diese Geschwindigkeit mit der die Sonne  $S$  und ihren Bildpunkt verbindenden Geraden  $\Sigma S$  bildet; es seien ferner  $a, e, q$  resp. die halbe grosse Axe, die Excentricität und die Periheldistanz der von dem Körper um die Sonne beschriebenen Bahn; es sei endlich  $r$  die Distanz  $\Sigma S$ . Da der Voraussetzung nach die Dimensionen des Raumes, innerhalb deren alle Körper sich befinden, in Bezug auf  $r$  sehr klein sind, so werden wir das Problem der Art betrachten können, als wenn alle Körper gleichzeitig von dem Punkte  $\Sigma$  ausgingen. Alsdann erhalten wir zwischen den Bahnelementen die bekannten Relationen:

$$v^2 = \frac{2}{r} - \frac{1}{a}; \quad r^2 v^2 \sin^2 \varphi = a (1 - e^2)$$

$$q = a (1 - e),$$

wobei als Einheit der Länge die halbe grosse Axe der Erdbahn angenommen ist, und als Einheit der Geschwindigkeit die Geschwindigkeit der Bewegung im Kreise für den Radius 1. Eliminirt man  $a$  und  $e$  aus diesen Gleichungen, so findet man:

$$v^2 (r^2 \sin^2 \varphi - q^2) = 2 q \left(1 - \frac{q}{r}\right).$$

Diese Formel drückt für jeden gegebenen Werth von  $r$  die Beziehung aus, welche zwischen  $v$  und  $\varphi$  existiren muss, also zwischen der Länge  $\Sigma M$  und dem Winkel  $M\Sigma S$ , damit die Periheldistanz der Bahn gleich  $q$  sei. Oder mit anderen Worten sie ist die Polargleichung zwischen  $v$  und  $\varphi$  des geometrischen Ortes der Punkte  $M$ , welche die Bildpunkte der durch das Perihel in der Distanz  $q$  gehenden Körper sind. Betrachtet man für jetzt nur die in der Ebene der Figur gelegenen Punkte, so sieht man leicht, dass der Ort der Punkte  $M$  in dieser Ebene eine Hyperbel  $FAE$ ,  $GBH$  ist, deren imaginäre Axe  $\Sigma S$  und deren Mittelpunkt  $\Sigma$  ist; die halbe Queraxe hat die Grösse  $A\Sigma = \sqrt{\frac{2q}{r(r+q)}}$  und ist deshalb eine sehr kleine Grösse; der Winkel  $D\Sigma S$  zwischen der Asymptote und der Axe  $\Sigma S$  ist gegeben durch  $\sin D\Sigma S = \frac{q}{r}$  und ist ebenfalls sehr klein.

Es ist nun leicht zu ersehen, dass, wenn man die Hyperbel um  $\Sigma S$  rotiren lässt, alle die Bildpunkte, welche sich auf der Oberfläche des so erzeugten Hyperboloids befinden, auch die Bildpunkte von Körpern sein werden, deren Periheldistanz  $= q$  ist: alle die Körper, deren Bildpunkte in das Innere des Hyperboloids fallen, werden durch das Perihel in einer geringeren Distanz, als  $q$  ist, hindurchgehen. Nehmen wir nun an, dass  $q$  die Sichtbarkeitsgrenze sei, d. h. diejenige Periheldistanz, jenseits welcher die in Betracht kommenden Körper uns nicht mehr, oder doch nur ausnahmsweise, sichtbar werden, so wird die ganze Frage nur auf die Betrachtung derjenigen Körper zurückgeführt, deren Bildpunkte den Raum innerhalb des hyperbolischen Konoids  $FEHG$  einnehmen.

Wir wollen jetzt bemerken, dass die in Betracht kommenden Körper Ellipsen, Parabeln oder Hyperbeln um die Sonne beschreiben werden, je nachdem ihre Geschwindigkeit  $v$  kleiner, gleich oder grösser ist, als  $\sqrt{\frac{2}{r}}$ .



Man beschreibe um  $\Sigma$  als Mittelpunkt eine Kugel von dem Radius  $K\Sigma$  gleich dieser Grösse, so wird sie von dem Konoid ein Stück MNRQ abschneiden. Alle die in dem Innern dieses Stückes gelegenen Bildpunkte werden elliptische Bahnen geben; die auf den Grenzflächen MN, RQ gelegenen Bildpunkte werden parabolischen Bahnen entsprechen; die in den unbegrenzten Theilen FRQG, EMNH gelegenen Bildpunkte werden hyperbolische Bahnen liefern. Es ist nun klar, dass (wenn man den Fall der unendlich wenig wahrscheinlichen Parabel vernachlässiget) für die Bahnen, deren Periheldistanz nicht grösser als  $q$  ist, die Wahrscheinlichkeit der Ellipse sich zu der der Hyperbel verhalten wird, wie die Anzahl der in dem geschlossenen Raume MNRQ enthaltenen Bildpunkte zu der Anzahl der in den beiden unbegrenzten Theilen des Konoids, in FRQG und EMNH, enthaltenen Bildpunkte. —

Wir haben aber vorausgesetzt, dass die Körper, um welche es sich hier handelt, im Raume sich mit Geschwindigkeiten bewegen, analog denen der Fixsterne, welche sicherlich von gleichem, wenn nicht von höherem, Grade sind als die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn, und nach allen möglichen Richtungen hin gewendet sind. Die Dimensionen des von den Bildpunkten eingenommenen Raumes werden also mit der Einheit vergleichbar sein und wahrscheinlich einige Einheiten betragen. In dem Stücke

MNRQ aber ist die Dimension  $AB = 2 \sqrt{\frac{2q}{r(r+q)}}$ ; diese Grösse kann

man auch, weil  $q$  gegen  $r$  verschwindet, schreiben  $\frac{2 \sqrt{2q}}{r}$ ; sie ist unter

den Umständen des von uns betrachteten Problemes, wobei  $q$  nicht viel grösser sein kann als 2, und  $r$  nicht viel kleiner als 100,000, ein sehr kleiner Bruch.

Was die Dimension LK oder  $2 \sqrt{\frac{2}{r}}$  betrifft, so ist sie be-

trächtlich grösser als die vorhergehende, obgleich immer noch ein äusserst kleiner Bruch. Das Volumen des Stückes MNRQ, welches den elliptischen Bahnen entspricht, wird also im Allgemeinen nur ein sehr kleiner Bruchtheil der anderen Theile des Konoids sein, welche von den Bildpunkten der, hyperbolische Bahnen durchlaufenden, Körper eingenommen werden.

Da ferner die Dichtigkeit der Bildpunkte von einer Stelle zur andern in der von ihnen gebildeten Wolke variirt, so werden wir die in dieser Wolke von dem Konoid abgeschnittenen Volumina nicht als Maass für die Anzahl der in diesen Volumina enthaltenen Bildpunkte ansehen können. Die grösseren Dichtigkeiten der Bildpunkte können aber offenbar unterschiedslos in das eine oder andere der erwähnten Volumina fallen. Deshalb können wir, wenn wir bei den einfachen Wahrscheinlichkeiten stehen bleiben, schliessen, dass unter den Bahnen der in das Innere des Sonnensystemes eindringenden Körper die Ellipsen ohne Vergleich weniger zahlreich sein werden, als die Hyperbeln, da die Parabeln, wie bekannt, stets unendlich wenig wahrscheinlich bleiben. —

Dieser Schluss bleibt immer richtig, auch wenn man als Grenze der beiden Klassen von Bahnen nicht genau die Parabel, sondern eine sehr langgestreckte Hyperbel aufstellen wollte. Nimmt man mit Laplace als Grenze der sehr langgestreckten Bahnen diejenige Hyperbel an, deren Queraxe — 100 ist, so bleibt die Dimension AB stets dieselbe, die Dimen-

sion LK wandelt sich dagegen aus  $2 \sqrt{\frac{2}{r}}$  um in  $2 \sqrt{\frac{2}{r} + \frac{1}{100}}$ , eine

viel beträchtlichere Grösse, da sie  $\frac{1}{5}$  etwas übertrifft. Wir müssen uns aber die Dimensionen der Wolke der Bildpunkte beträchtlich grösser vorstellen, und



deshalb bleiben die Bahnen von einem mehr ausgeprägten hyperbolischen Charakter, als die vorhin erwähnte, stets die weniger wahrscheinlichen.

Da die Kometen nur sehr wenige Beispiele von hyperbolischem Charakter liefern, und da diese Beispiele auch noch sehr langgestreckte Hyperbeln betreffen, so müssen wir schliessen, dass für sie alle Bildpunkte bis auf eine sehr kleine Entfernung von dem Punkte  $\Sigma$  vereinigt sind, oder mit anderen Worten, dass bei allen ihre Bewegung in Bezug auf die Sonne äusserst klein sei; dieses Merkmal unterscheidet sie von den, dem allgemeinen Systeme der Fixsterne angehörenden, Körpern und zeigt, dass sie eine besondere Klasse bilden.

Es bleibt nun noch übrig zu erklären, wie und auf welche Weise Laplace durch die Untersuchung derselben Frage zu Schlussfolgerungen gelangt ist, welche den obigen direct entgegengesetzt sind. Sein Verfahren ist, wenn man es von dem eleganten analytischen Gewande entkleidet, im Wesentlichen mit dem oben entwickelten identisch, abgesehen von folgenden Unterschieden. Zunächst abstrahirt Laplace von der Eigenbewegung der Sonne; für ihn fällt der Punkt  $\Sigma$ , das Centrum des Hyperboloids, mit dem Mittelpunkte O zusammen. Sodann nimmt er an, dass alle Geschwindigkeiten gleichmässig um O herum vertheilt sind, und dass alle Geschwindigkeiten von null bis unendlich gross, gleich wahrscheinlich sind. Dies kommt der Annahme gleich, dass die Dichtigkeit der Bildpunkte um O herum mit dem Quadrate der Entfernungen von O abnimmt. Diese Hypothese ist willkürlich, man kann sie gleichwohl für den Punkt O als plausibel betrachten, nicht so aber für den Punkt  $\Sigma$ , wenn dieser, wie man sicher annehmen muss, von O verschieden ist. Endlich nimmt Laplace sehr grosse und sogar unendlich grosse Geschwindigkeiten als möglich an: dies involvirt, der Wolke der Bildpunkte eine unendlich grosse Ausdehnung beizumessen. Trotz dieser Unterschiede würde das Laplace'sche Resultat von dem oben erhaltenen nicht verschieden geworden sein, wenn Laplace nicht bei der Ausführung seiner Integrationen ein Glied, dessen Berücksichtigung wesentlich ist, als zu vernachlässigen weggelassen hätte. —

Nach der Hypothese von Laplace ist die Anzahl der Bahnen, welche dem zwischen den sphärischen Flächen ACB und MKN befindlichen Stücke des hyperbolischen Konoids entsprechen, gegeben durch das Integral:

$$\int dv \left( 1 - \frac{\sqrt{1 - \frac{q}{r}}}{rv} \sqrt{r^2 v^2 \left( 1 + \frac{q}{r} \right) - 2q} \right) \dots \dots (a),$$

wobei die Buchstaben dieselbe Bedeutung, wie oben, haben, und die Grenzen der Integration zwischen  $v = \Sigma K$  und  $v = \Sigma C$  liegen. Um diese Rechnung auszuführen, machen wir mit Laplace:

$$\sqrt{r^2 v^2 \left( 1 + \frac{q}{r} \right) - 2q} = rv \sqrt{1 + \frac{q}{r}} - z \dots \dots (b),$$

wo z eine neue Variable anstatt v ist. Hieraus erhält man:

$$rv = \frac{2q + z^2}{2z \sqrt{1 + \frac{q}{r}}} \dots \dots (b^1).$$

Macht man nun diese Substitution, so wird das Integral (a):

$$v \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{q^2}{r^2}} \right) + \frac{\sqrt{1 - \frac{q}{r}}}{r} \int dz \left( 1 - \frac{4q}{z^2 + 2q} \right)$$

oder auch:

$$v \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{q^2}{r^2}} \right) + \frac{\sqrt{1 - \frac{q}{r}}}{r} \left( z - 2\sqrt{2q} \operatorname{arc tang} \sqrt{\frac{z}{2q}} \right) \dots \dots (c)$$



Laplace findet dagegen \*):

$$v + \frac{\sqrt{1 - \frac{q}{r}}}{r} \left( \frac{z}{2} - 2\sqrt{2q} \arctan \frac{z}{\sqrt{2q}} - \frac{q}{z} \right) \dots\dots (c^1)$$

Diese beiden Formeln (c) und (c<sup>1</sup>) sind aber nur dem Anscheine nach verschieden; die eine verwandelt sich in die andere, wenn man die Relation (b<sup>1</sup>) einführt. Es ist wohl nicht nöthig zu sagen, dass beide Formeln durch eine Constante vervollständigt werden müssen.

Ein Theil der Formel (c) ist der Grösse  $v$  proportional, nämlich:

$$v \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{q^2}{r^2}} \right) = \frac{v}{2} \frac{q^2}{r^2} \left( 1 + \frac{1}{4} \frac{q^2}{r^2} + \dots \right);$$

dieser Theil enthält zwar den sehr kleinen Factor  $\frac{q^2}{r^2}$ , kann aber mit der unendlichen Zunahme von  $v$  einen Werth erreichen, der grösser ist, als jede irgendwie angebbare Grösse. Es ist auch klar, dass der zweite Theil des Ausdrucks (c) keine anderen Glieder mehr enthält, welche proportional  $v$  sind, und dass seine beiden Glieder fortwährend abnehmen, wenn  $v$  zunimmt, und gleich null sind für  $v$  unendlich gross.

In der Formel (c<sup>1</sup>) enthalten zwei Glieder die Grösse  $v$  als Factor, nämlich das erste Glied ausserhalb der Klammer, und das letzte innerhalb der Klammer. Zur Erleichterung der Rechnung substituirt Laplace für  $z$  nicht direct seinen durch (b) gegebenen Werth, sondern entwickelt diesen Werth in eine Reihe und findet:

$$z = \frac{q}{rv} \left( 1 - \frac{q}{2r} \left( 1 - \frac{1}{rv^2} \right) + \dots \right);$$

und vernachlässigt die mit höheren Potenzen von  $\frac{q}{r}$  multiplicirten Glieder. Gebraucht man diese Formel für das letzte Glied von (c<sup>1</sup>) und behält man denselben Grad der Annäherung bei, so hat man den Ausdruck:

$$\frac{q}{z} = rv \left( 1 + \frac{q}{2r} \left( 1 - \frac{1}{rv^2} + \dots \right) \right),$$

in welchem  $rv \left( 1 + \frac{q}{r} \right)$  der der Grösse  $v$  proportionale Theil ist. Führt man nun den Werth von  $\frac{q}{z}$  in (c<sup>1</sup>) ein, und vernachlässigt man die Glieder in

$\frac{q^2}{r^2}$  wie oben geschehen ist, so findet man, dass die mit  $v$  multiplicirten Glieder sämmtlich verschwinden. So kommt es, dass, in dem weiteren Verlaufe der Rechnung, die Formeln von Laplace kein Glied enthalten, welches  $v$  proportional ist; der Theil des Integrals, welcher  $v$  als Factor enthält, ist mit  $\frac{q^2}{r^2}$  multiplicirt, und gehört zu den von Laplace weggelassenen Gliedern. Aus diesem Grunde fand Laplace, als er seine Integration bis zu  $v$  unendlich gross ausdehnte, ein endliches Resultat, während aus (c) klar hervorgeht, dass dies Resultat unendlich gross sein muss. Hieraus ersieht man, weshalb die Wahrscheinlichkeit der hyperbolischen Bahnen, deren Axen kleiner als 100 sind, bei ihm gleich  $\frac{1}{5713}$  ist, während in Wirklichkeit, wenn man in jeder Beziehung von den Annahmen

\*) S. Connaissance des Temps pour 1813 pag. 216.



Laplace's ausgeht, diese Wahrscheinlichkeit von der Einheit sich nur um eine unendlich kleine Grösse unterscheidet. —

Man kann sich auch leicht überzeugen, indem man die Berechnungen von Laplace verfolgt, dass das Glied in  $v$  der Formel (c) denjenigen Theil des Integrals giebt, welcher dem Kegelstumpf  $abdc$  entspricht, während die anderen Glieder den Theil geben, welcher dem, von der krummlinigen Fläche  $AacM$  bei ihrer Umdrehung um  $\Sigma S$  erzeugten, ringförmigen Körper entspricht. Man begreift auch, dass der erste dieser beiden Theile nicht gegen den zweiten vernachlässigt werden kann, und dass er sogar immer wichtiger wird, nach Massgabe, dass die obere Grenze von  $v$  immer höher steigt. Für  $v = \infty$  ist dieser Theil unendlich grösser als der andere. —

## Achte Note.

Beweis, dass die Meteoriten von Knyahinya und von Pultusk nicht aus derselben Gegend des Himmelsraumes haben herkommen können.

Ist  $a$  die Queraxe einer hyperbolischen Bahn, so sind die Geschwindigkeiten  $V$  in unendlicher Entfernung und  $W$  in der Entfernung 1, eines diese Bahn um die Sonne beschreibenden Körpers, durch die bekannten Formeln gegeben:

$$V = \sqrt{\frac{1}{a}} \text{ und } W = \sqrt{2 + \frac{1}{a}}.$$

Wenn wir nun annehmen, dass ein Meteorit aus den Sternenräumen zu uns gelangt sei, indem er eine hyperbolische Bahn mit der Axe  $a$  beschreibt, so werden wir aus der zweiten Formel die absolute Geschwindigkeit kennen lernen, welche er besessen hatte, als er auf die Erde traf\*). Es wird daher leicht sein, aus der beobachteten Richtung der relativen Bewegung die der absoluten, oder die Tangente an die Hyperbel für den Punkt des Niederfallens herzuleiten. Man kann alsdann ferner durch eine sehr einfache Rechnung die Richtung der Asymptote an denjenigen Ast der Hyperbel bestimmen, längs welchem der Meteorit zu uns herabgestiegen ist, und auf einer Himmelskarte den Ort bezeichnen, von welchem dieser Körper ausgegangen ist. —

Ein Körper kann aus dem Himmelsraume nur dann bis zu uns gelangen, wenn er eine der unendlich vielen Hyperbeln durchläuft, welche zwischen der geraden Linie (welcher  $V = \infty$  und  $a = 0$  entspricht) und der Parabel (welcher  $V = 0$  und  $a = \infty$  entspricht) enthalten sind. Wenn wir uns vorstellen, dass für alle, zwischen diesen Grenzen befindlichen, Werthe von  $a$  die Berechnung der Richtung im Raume, von welcher her der Meteorit hat herkommen können, ausgeführt, und dass der entsprechende Punkt auf der Himmelskarte eingezeichnet sei, so werden wir auf dieser Karte eine Curve erhalten, welche der geometrische Ort der erwähnten Punkte sein wird: wir werden alsdann auch erkennen, dass der Meteorit von einer, durch einen Punkt dieser Curve angegebenen, Richtung des Himmels hat herkommen müssen.

\*) Wir vernachlässigen hier die Excentricität der Erdbahn, welche man, wenn man wollte, leicht berücksichtigen könnte.

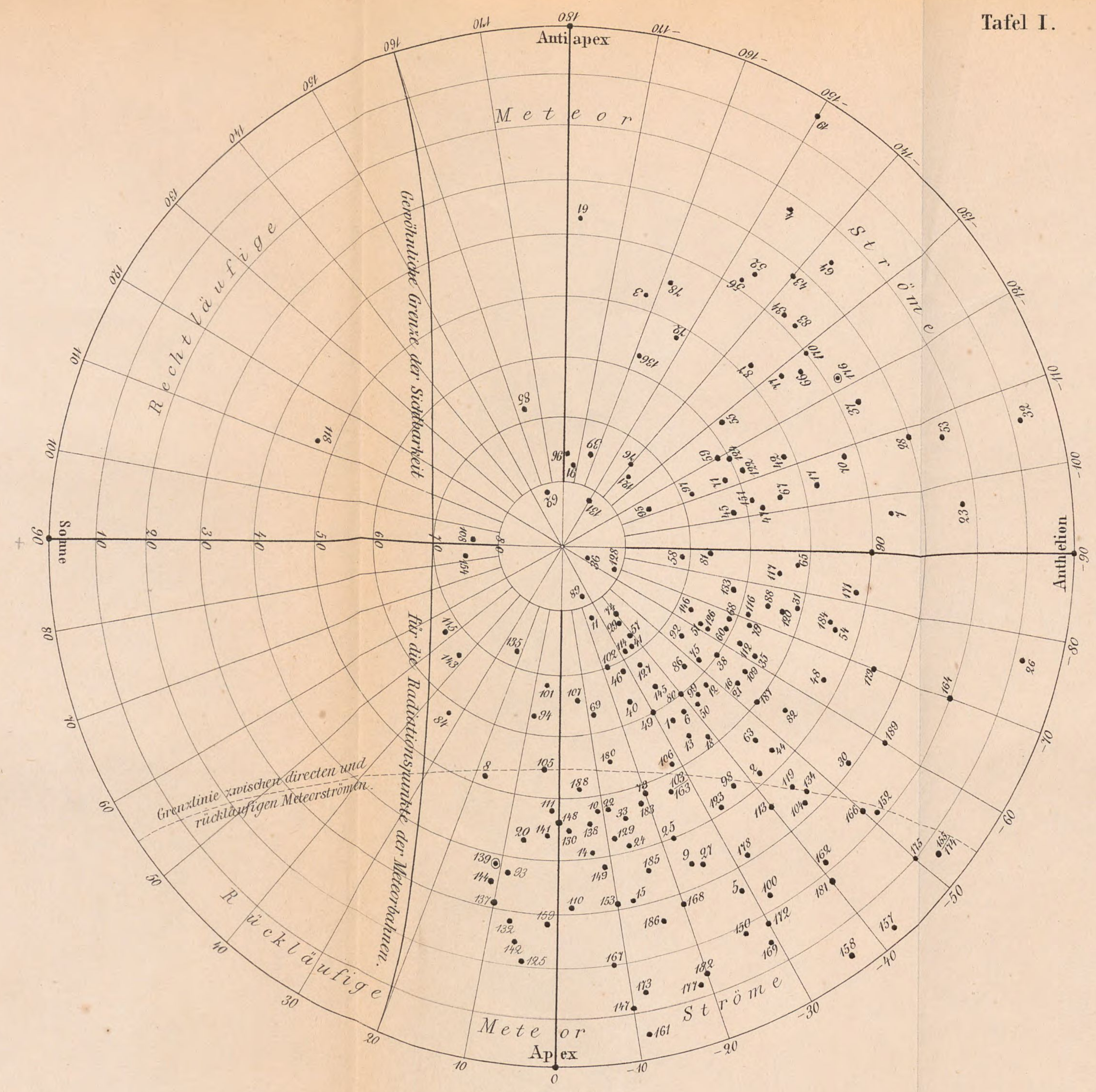


Für den Meteoriten von Knyahinya beginnt die Curve in dem Punkte der beobachteten Richtung, dessen Long.  $134^{\circ}$  und Lat.  $+ 41^{\circ}$  ist, zwischen  $\beta$  und  $\theta$  des grossen Bären. Aus dieser Richtung würde der Meteorit in geradliniger Bewegung hergekommen sein, wenn seine Anfangsgeschwindigkeit unendlich gross gewesen wäre. Alsdann senkt sich die Curve nach  $\lambda$  und  $\mu$  desselben Sternbildes herab, geht nahe bei 38 Lyncis und  $\theta$  Geminorum vorbei, durchschneidet die Ekliptik in  $78\frac{1}{2}$  Grad Länge und endigt bei  $\lambda$  Tauri in einem Punkte, welcher die Richtung des Aphels der Parabel bezeichnet, welche der Meteorit beschrieben haben würde, wenn er in die Attractionssphäre der Sonne mit einer verschwindenden Eigengeschwindigkeit gelangt wäre.

Für den Meteoriten von Pultusk beginnt die Curve in dem Punkte der beobachteten Richtung, dessen Long. (nach Galle)  $20^{\circ}$  und Lat.  $+ 12^{\circ}$  ist, bei  $\psi$  Piscium: diese Richtung entspricht der mit unendlich grosser Geschwindigkeit beschriebenen geradlinigen Richtung. Von diesem Punkte aus folgt die Curve fast einem grössten Kreise in rückläufiger Richtung durch die Sternbilder der Fische und des Wassermannes; sie durchschneidet die Ekliptik bei  $310^{\circ}$  Länge und endigt in dem Punkte, Long.  $285^{\circ}$ , Lat.  $- 4^{\circ}$ , nicht weit von  $\pi$  Capricorni; dieser Punkt entspricht der äussersten Annahme einer parabolischen Bahn.

Wenn die Meteore von Knyahinya und von Pultusk aus derselben Gegend des Raumes mit gleicher Anfangsgeschwindigkeit hergekommen wären, so müssten die beiden Curven sich in dem Punkte treffen, welcher am Himmel ihre gemeinsame Richtung anzeigt, und dieser Punkt müsste bei beiden Curven einem und demselben Werthe der grossen Axe  $a$  entsprechen. Wir sind aber von diesen Bedingungen sehr weit entfernt: die beiden Curven liegen in fast entgegengesetzten Theilen des Himmels und schneiden sich nirgends. Betrachtet man bei ihnen paarweise die Punkte, welche gleichen Werthen der grossen Axen entsprechen, so findet man, dass diese Punkte nie weniger als  $100^{\circ}$  von einander entfernt sind; untersucht man ferner die Folgen der möglichen Beobachtungsfehler, so findet man, dass, wenn man selbst Fehler von  $30^{\circ}$  oder  $40^{\circ}$  annimmt, nicht diejenigen Bedingungen erreicht werden, welche ein gemeinsamer Ursprung der beiden Meteoriten erfordert. Da ferner die Curven keinen gemeinsamen Punkt besitzen, so haben offenbar die beiden Meteoriten nicht aus derselben Gegend des Himmelsraumes herkommen können, auch selbst dann nicht, wenn man keine Bedingung der Gleichheit, in ihren grossen Axen, oder in den Anfangsgeschwindigkeiten, mit denen sie in die Attractionssphäre der Sonne eingetreten sind, annehmen wollte.

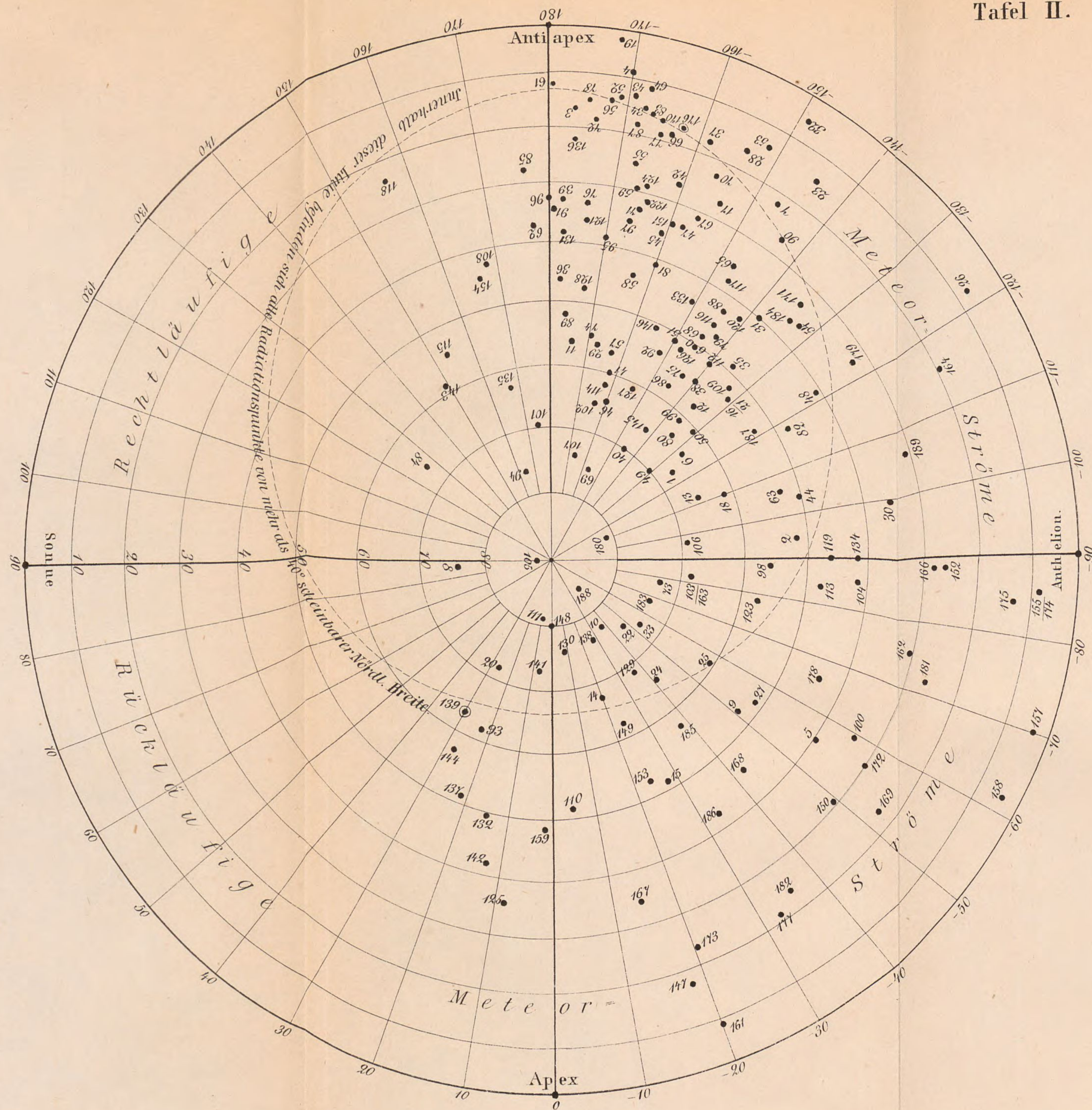








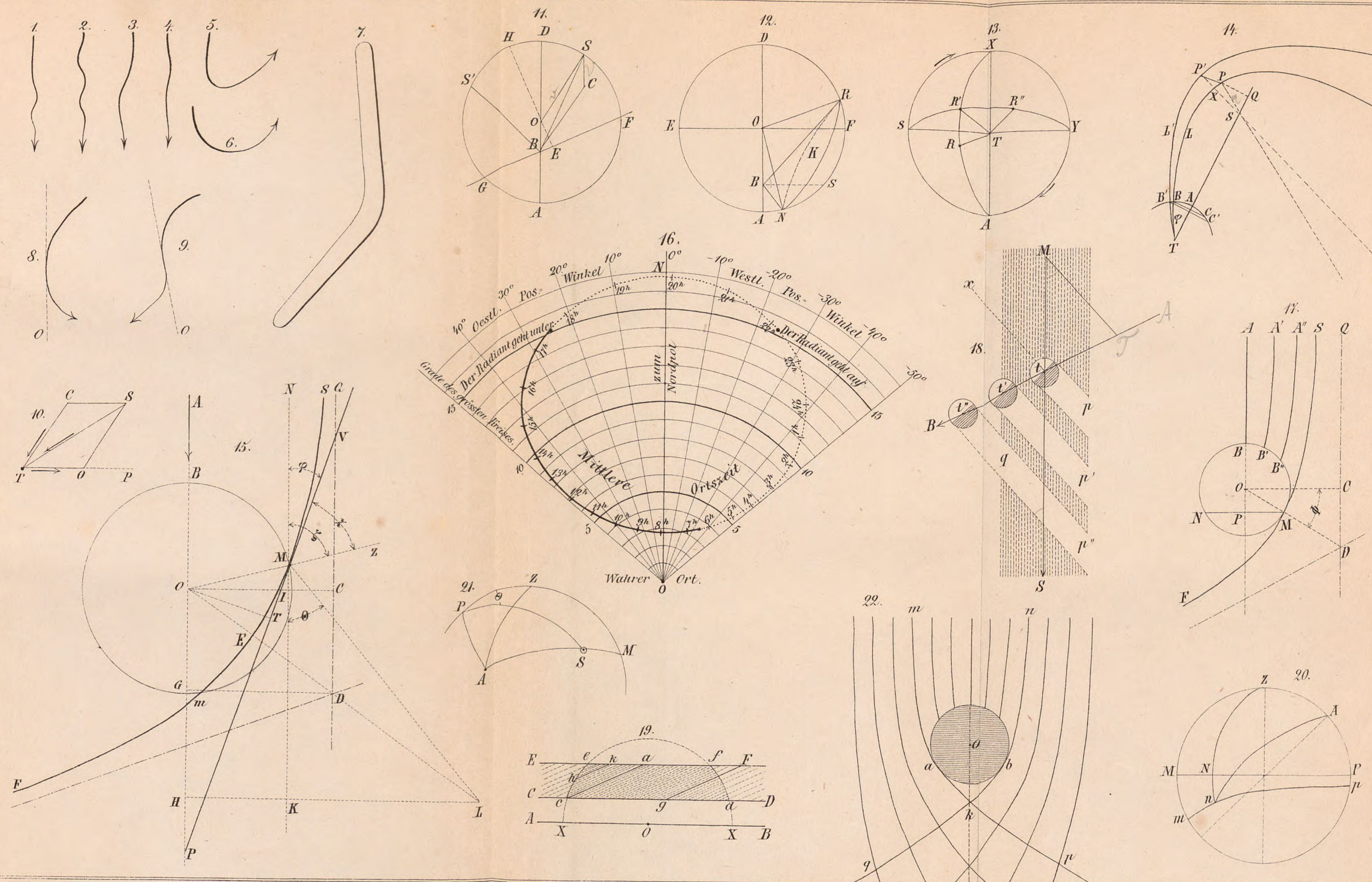


















26. Nucleus Cometæ maximi anni 1618, tubo optico  
a Cysato observatus.

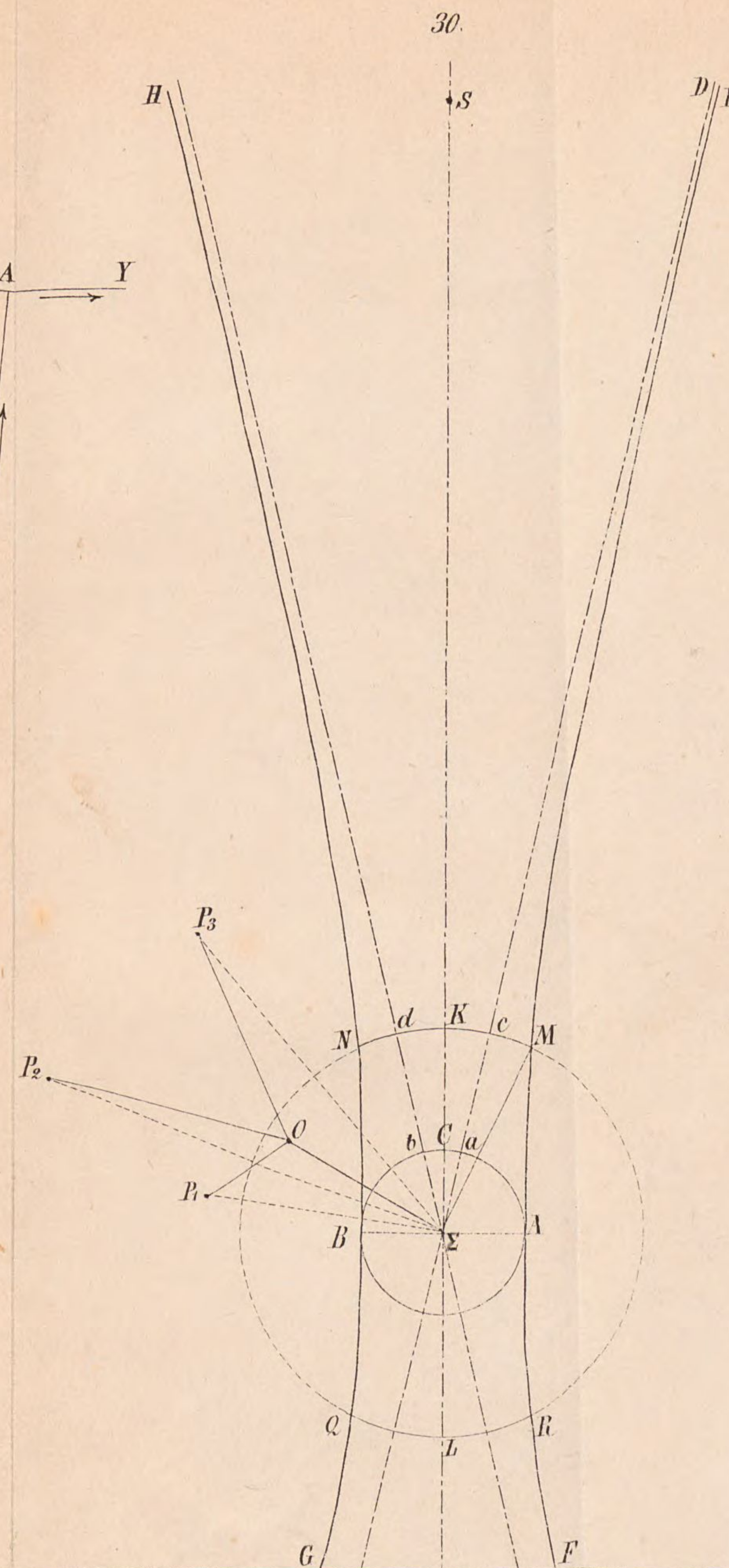
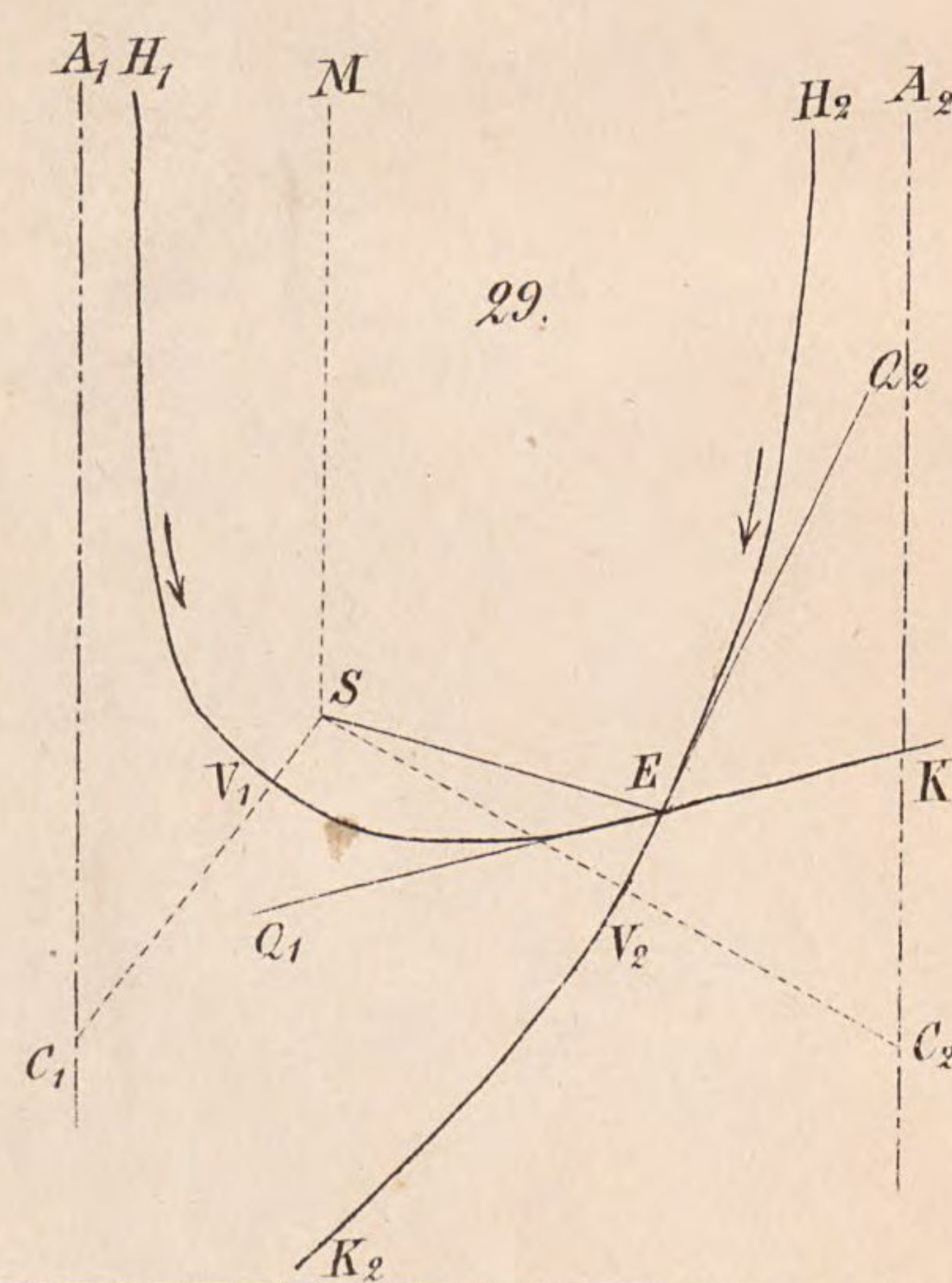
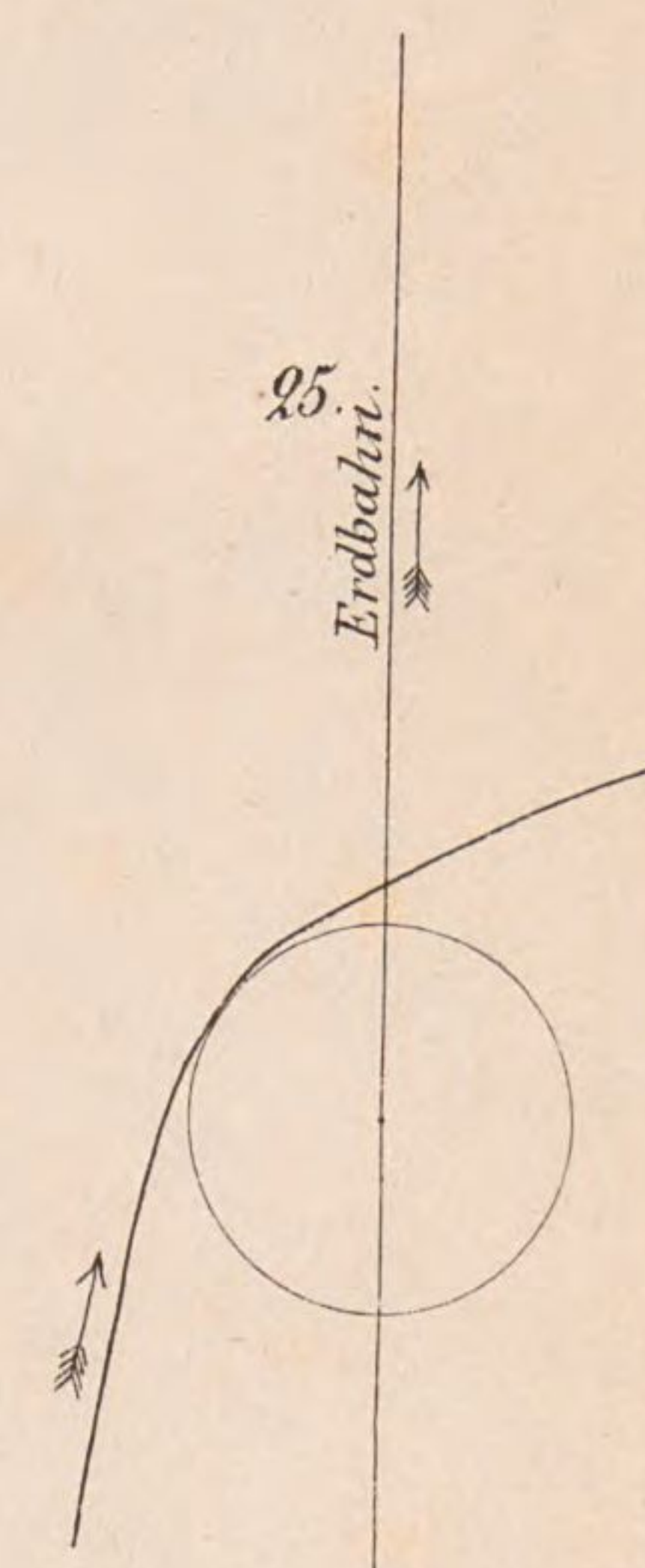
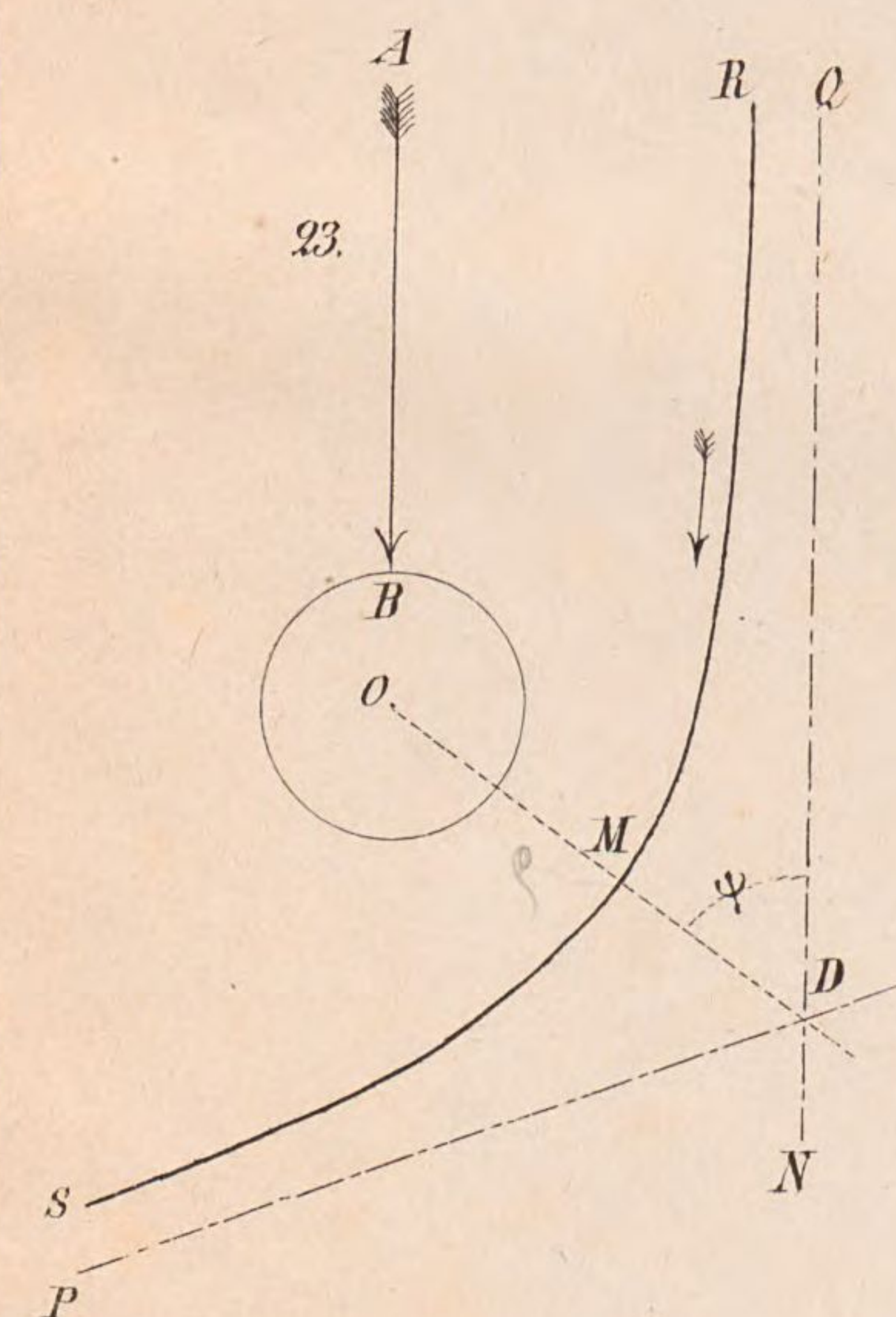
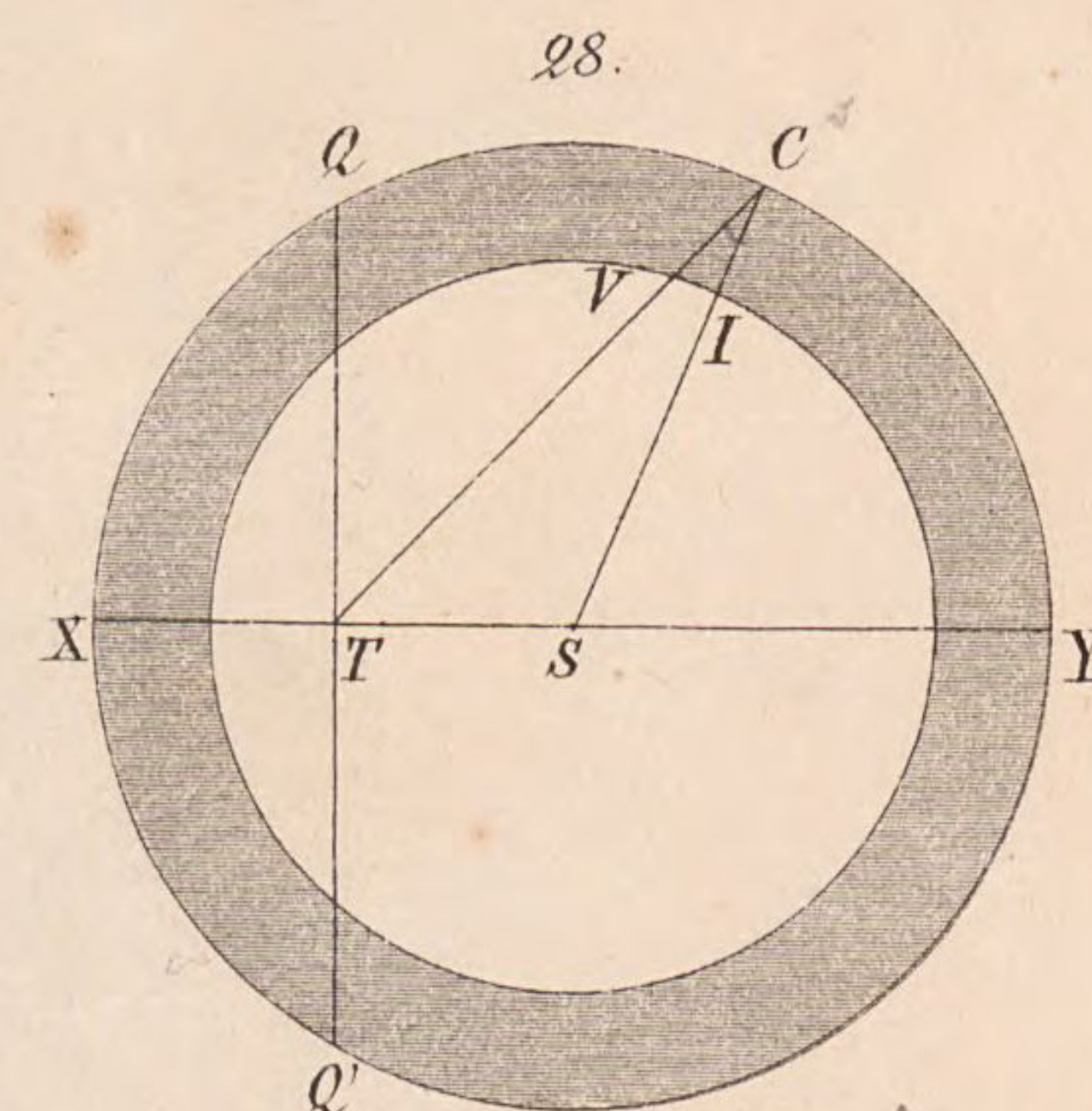
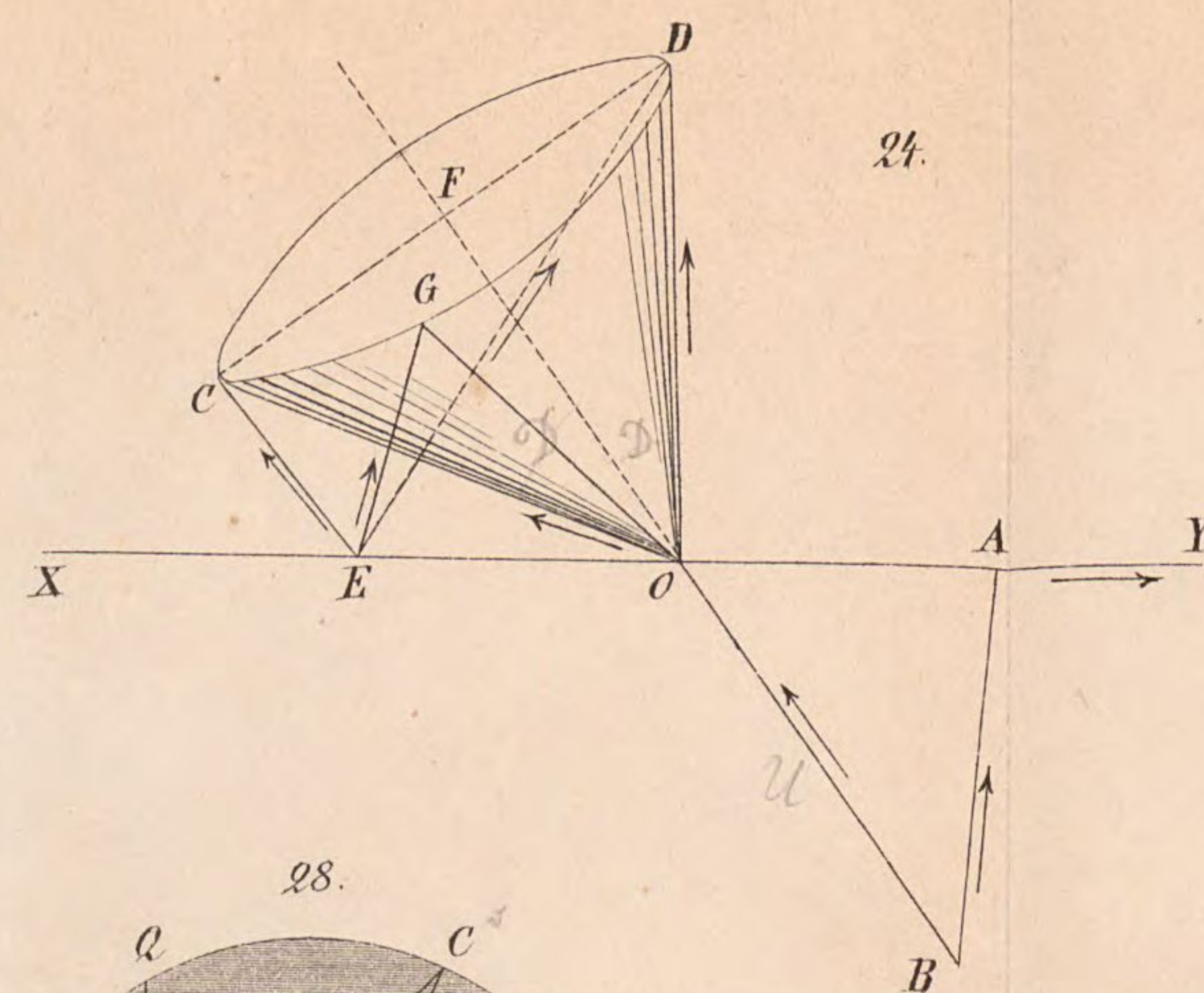
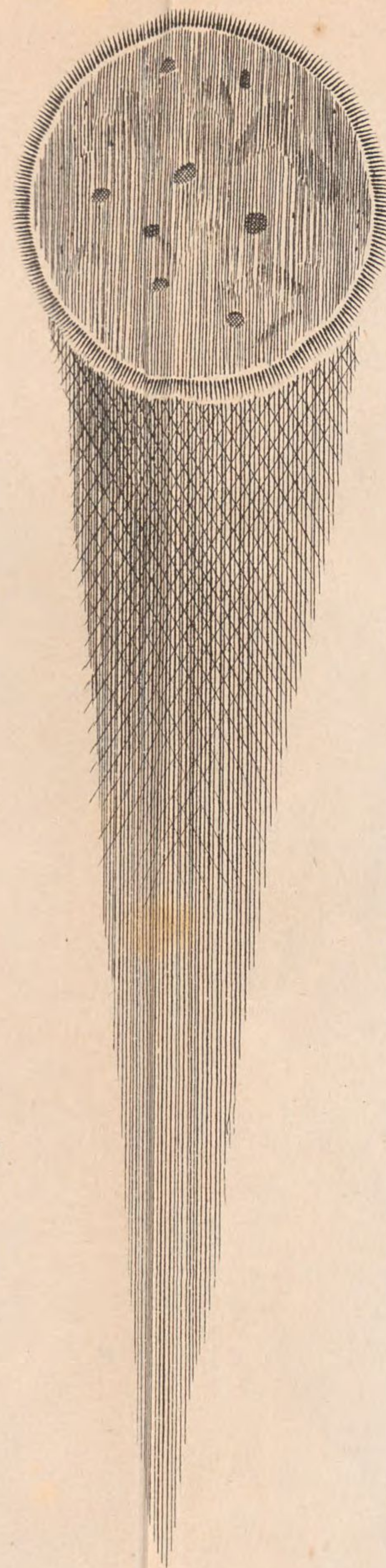
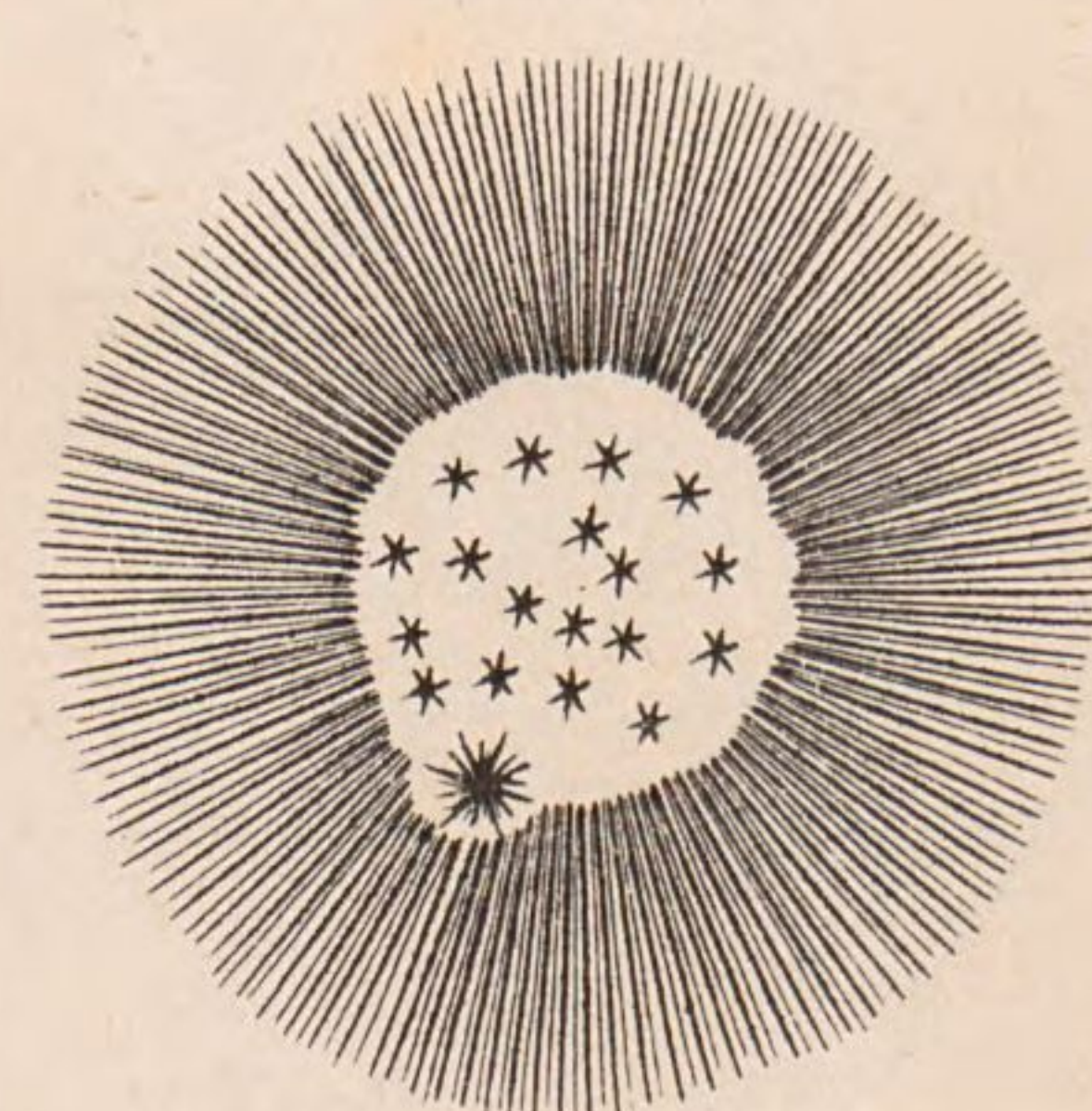
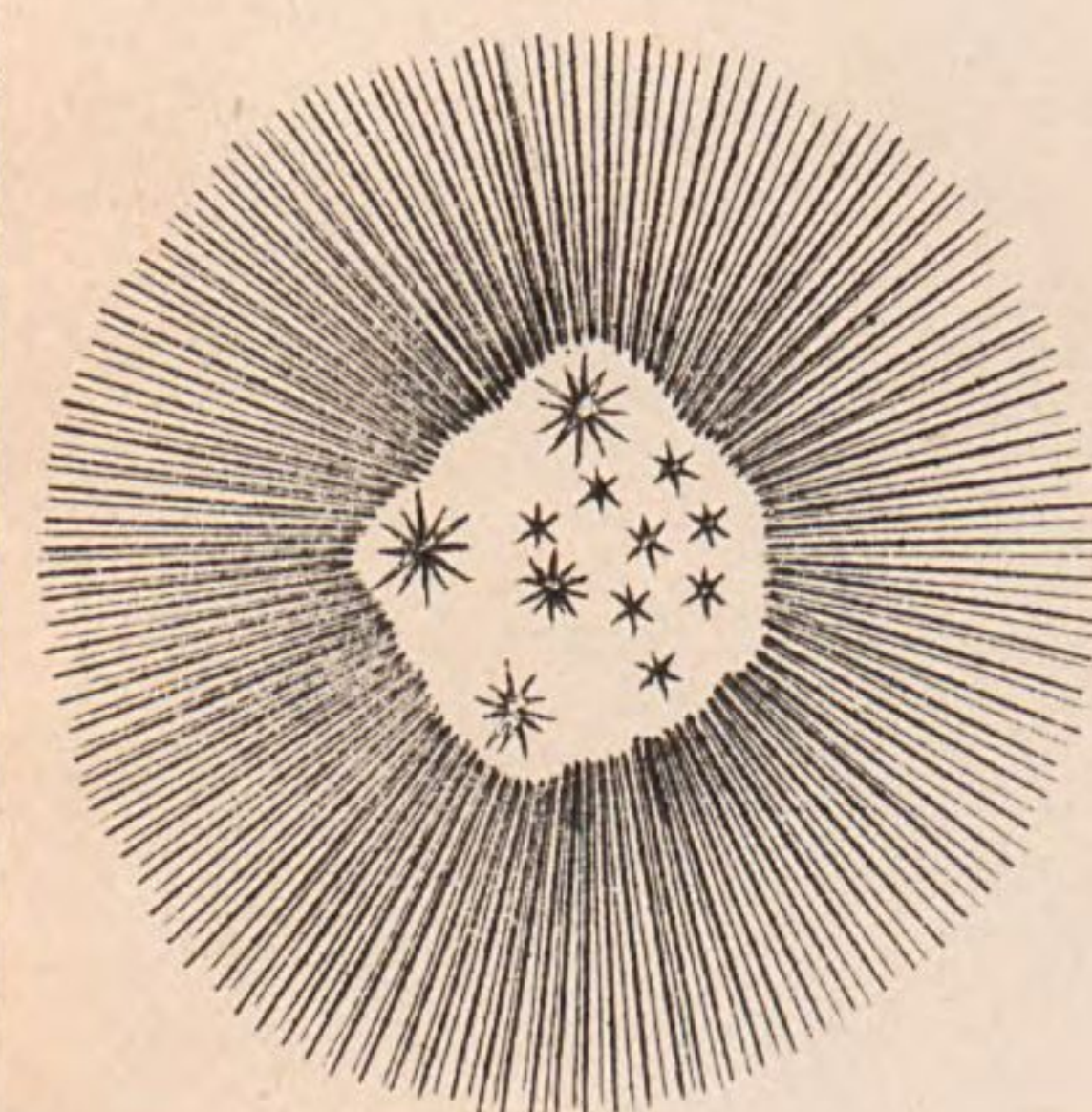
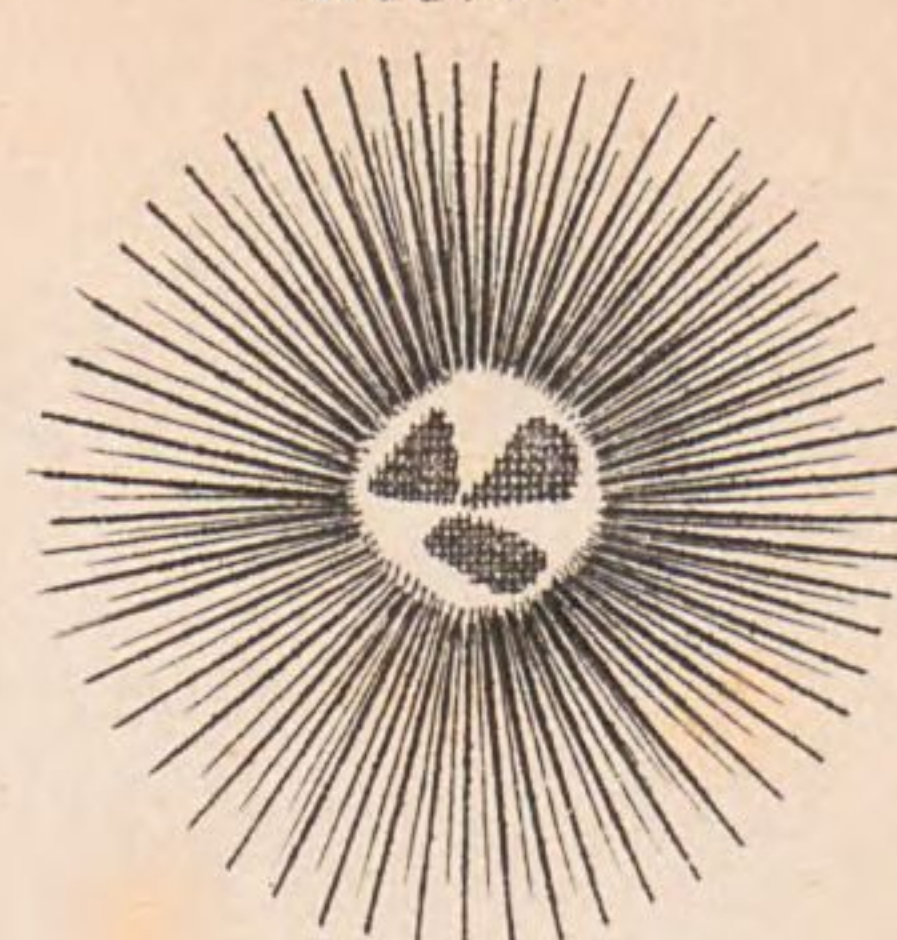
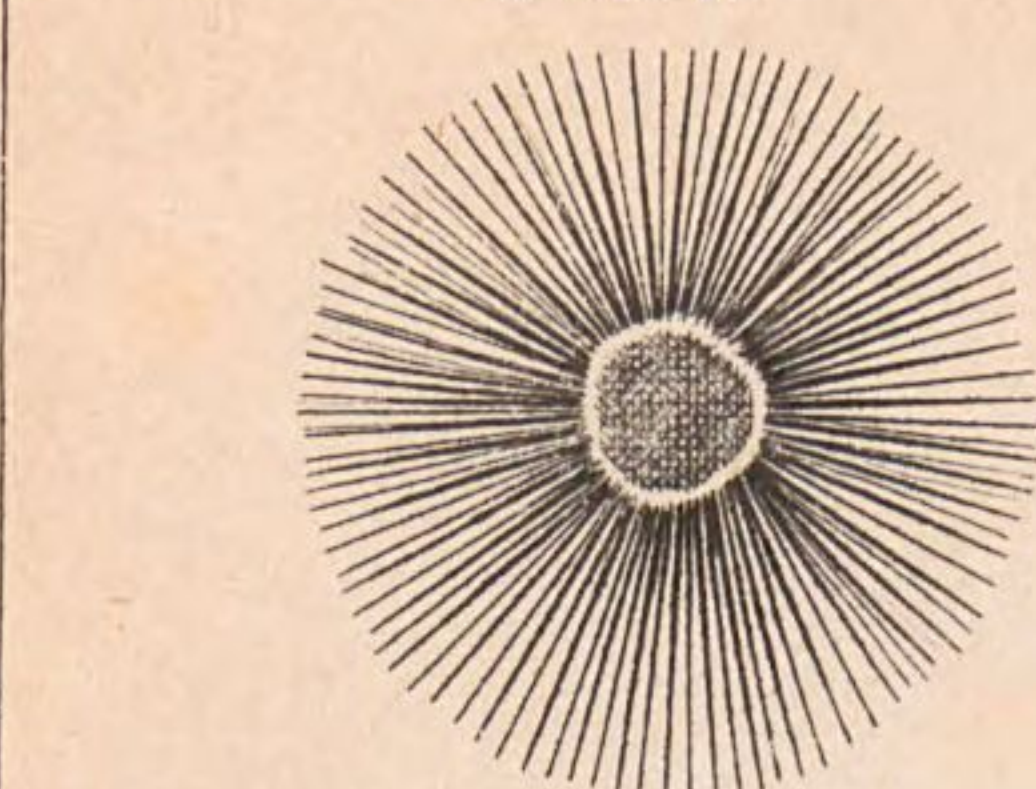
27. Cometa anni 1652, a  
Johanne Hevelio  
die 27 Dec. observatus.

Dec. 1.

Dec. 8.

Dec. 20.

Dec. 24.

























Schiaparelli, Giovanni V.,

Entwurf einer astronomischen Theorie der Sternschnuppen

Stettin 1871

Astr.p. 153 I

urn:nbn:de:bvb:12-bsb10998807-6